



TITLE:

肉牛生産システムにおける資源・
環境問題に関する研究(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

劉, 晨

CITATION:

劉, 晨. 肉牛生産システムにおける資源・環境問題に関する研究. 京都大学, 2001, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2001-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3183653>

RIGHT:

肉牛生産システムにおける
資源・環境問題に関する研究

劉 晨

肉牛生産システムにおける資源・環境問題に関する研究

Resources and Environmental Problems of
Beef Cattle Production System

2001 年 3 月

劉 晨

Chen LIU

目次

第1章 序論	1
第2章 世界の牛肉生産及び食料・環境問題	5
2.1 牛利用の歴史	5
2.2 世界の牛肉生産量	7
2.3 世界の牛肉消費量	8
2.4 世界の牛肉生産力	11
2.5 穀物・飼料生産力	13
2.6 世界の肉牛生産システムの比較	14
2.6.1 アメリカ	14
2.6.2 オーストラリア	15
2.6.3 ヨーロッパ	15
2.6.4 日本	16
2.6.5 中国	16
2.7 肉牛生産に関わる食料・エネルギー・環境問題	17
2.7.1 大量の穀物消費	17
2.7.2 大量の補助エネルギー消費	18
2.7.3 糞尿による水質・土壌汚染	19
2.8 まとめ	19
第3章 中国の牛肉消費性向に関する事例分析	20
3.1 はじめに	20
3.2 調査方法	21
3.2.1 統計資料調査の概要	21
3.2.2 アンケート調査の概要	21
3.2.3 調査地の概要	22
3.3 結果と考察	23
3.3.1 統計資料調査の結果	23
3.3.2 アンケート調査の結果	27

3.3.2.1	回答者の属性	27
3.3.2.2	嗜好と消費	28
3.3.2.3	外国食文化	31
3.3.2.4	イメージ・意識の評価	34
3.4	まとめ	38
第4章	エネルギー消費モデルによる肉牛生産システムの評価	40
4.1	はじめに	40
4.2	方法	41
4.2.1	肉牛生産モデルの概要	41
4.2.2	飼料要求量の計算	44
4.2.3	エネルギー消費量・産出量の計算	46
4.2.3.1	肉牛肥育単独システム	46
4.2.3.2	肉牛放牧システム	47
4.2.3.3	肉牛肥育・稲作複合システム	48
4.2.3.4	肉牛肥育・飼料生産複合システム	48
4.2.4	エネルギー効率・依存率	49
4.2.5	シミュレーション条件	50
4.3	結果	50
4.3.1	肉牛肥育単独システム	50
4.3.2	肉牛放牧システム	51
4.3.3	稲作複合および飼料生産複合システム	52
4.4	エントロピー評価法の提案	56
4.5	考察	57
第5章	環境保全型肉牛肥育・稲作複合システムの構築	59
5.1	はじめに	59
5.2	分析方法	62
5.2.1	システム・ダイナミックス	62
5.2.2	窒素循環モデルの概念	63

5.2.3 肉牛生産のシナリオ	64
5.2.3.1 従来型	64
5.2.3.2 循環生産型	64
5.2.3.3 飼料稲生産型	64
5.2.3.4 飼料稲生産・循環生産複合型	65
5.2.4 窒素循環モデルの構築	65
5.2.4.1 STELLA の概要	65
5.2.4.2 肉牛肥育・稲作複合システムのモデル	67
5.2.4.3 シミュレーション条件	76
5.3 結果と考察	78
5.3.1 環境中窒素排出総量	78
5.3.2 糞尿還元率	79
5.3.3 TDN 換算飼料自給率	80
5.3.4 飼養規模調節	81
5.3.4.1 肉牛頭数および窒素負荷量	81
5.3.4.2 環境中窒素排出総量	83
5.3.4.3 糞尿還元率	84
5.3.4.4 TDN 換算飼料自給率	85
5.3.5 意思決定支援システム	85
5.4 まとめ	87
 第6章 結論	 89
 引用文献	 95
謝辞	98
論文リスト	99
附録 アンケート(中国語)	101

第1章 序論

人類と牛の関わりの歴史は古い。後期旧石器時代の遺跡であるアルタミラやラスコーの洞窟壁画には、バイソンや原牛狩りの様子が描かれている。新石器時代に入ると、西アジアで野生の牛が家畜として飼い慣らされるようになった。古代オリエントでは、牛を聖なるものとして崇めるという信仰が見られており、インドでは、今でも、神聖な存在として牛が尊重されている。今日では、牛は世界最多の哺乳家畜である。FAO 統計¹⁾によれば、2000年には世界全体で13億3114万頭の牛が飼養されており、牛以外では、ヒツジが10.6億頭、ブタが9.0億頭、ヤギが7.1億頭、ウマが0.6億頭にとどまっている。人間の消化器官はセルロースやセミセルロースを消化することができないが牛は可能である。人類は、牛などの反芻動物を家畜として利用することで、植物という資源を有効に活用してきたと言える。特に、産業革命以降には、牛の品種改良が一段と進められ、乳、肉、役、役肉、乳肉、乳肉役など様々な用途にあった品種が作られ利用されてきた。発展途上国では今日でも、機械、燃料、肥料の購入利用が困難であるため、牛を役畜として利用している。その一方近年、中国やブラジルなどでは肉牛生産の伸びが著しい。経済成長を達成した先進国では、機械化の進展、化学肥料の利用増加、穀物の生産過剰により、牛の利用は牛肉生産と牛乳生産に特化し、効率を追求した集約型生産が進められている。世界的に見れば、牛の飼養頭数はますます増加している。しかし、肉牛の飼養頭数の増加及び集約型生産の拡大は、地球環境に対する負荷、あるいは地球規模の食料・エネルギー問題という観点からみると大きな課題を抱えている。すなわち、1)大量の穀物消費、2)大量の補助エネルギー（石油、石炭などの化石燃料エネルギー）の消費、3)糞尿の蓄積による水質・土壌汚染などが挙げられる。

人間は生物圏のなかで牛やその飼料、またその他の食料などの生産活動を営んでいる。人口の増大や生産の近代化・効率化は、当然生物圏の環境に影響を与え、その結果として環境変化が生じ、生物圏における人間の営みにも深刻な影響を及ぼすことになる。人間の活動を持続させていくためには、生物圏の中で他の生物とお互いに共生していく循環型社会を創っていかなく

ればならないと考える。そこで、本研究では生物圏情報学という観点から、肉牛生産システムを取り上げ、その生産活動に伴う資源、エネルギーの循環、環境負荷について明らかにすることを目的とし、それを通じて循環型社会への提案をおこなう。

まず、牛肉生産という点で注目されるのは、中国の事例である。世界的に牛肉生産量が増加する中、伝統的に豚肉を食する中国では、近年の経済成長による所得の増加、西洋風の食習慣の流入や食生活の多様化に伴って、牛肉の需給が急速に増大している。中国における牛肉生産量は、1999年には4,674,333MT (MT: metric ton=トン) であり、これは1961年の43,682MTに対して約107倍になった。しかし、牛肉は現在の生産システムのもとでは畜産物の中で最もエネルギーの転換効率が低く、その生産には大量の穀物を消費している。そのため、肉牛の飼養頭数の増加は食料問題という観点からみると大きな課題を抱えている。中国の人口は世界人口の1/5を占めている。この中国で牛肉消費量の増加傾向が続けば、世界の穀物需給バランスに大きな影響を与えと考えられる。このような問題について、松村ら²⁾は、アジア各国の食料需給モデルを構築し、2010年までのカロリーベースによる食料需給予測をおこなった。また、白石³⁾は、統計データから、中国における食料問題の解決のための方策について、一人あたりの食料生産量と肉類供給量に基づいて議論をおこなっている。しかし、これらの研究は、主として統計データの分析に基づいており、フィールド調査から得られたデータによる検討はおこなわれていない。そこで本研究では、フィールド調査によって人々の食生活・食文化に対する意識調査をおこない、その結果に基づいて現代中国における牛肉消費性向に関する分析をおこなう。

次に課題となるのは、いかなる肉牛生産システムが循環型社会に適合的かという問題である。本研究では、肉牛生産システムの評価のために、統計データが入手可能な日本の事例をもとに、シミュレーションモデルを構築する。日本における肉牛肥育の分野では、生産性の向上と肉質を重視する市場の要求から、飼養規模の拡大、濃厚飼料多給型の集約的飼養が進んでいる。高品質な牛肉を生産するためには、エネルギー含量の高い濃厚飼料の給与が必要であるが、エネルギー消費の観点から持続的な肉牛生産を目指すためには、

再生不可能な補助エネルギーの消費抑制、太陽エネルギーの利用率向上を図りながら、市場の要求を満たす効率的な肉牛生産を考えなければならない。肉牛肥育経営における糞尿問題と環境負荷の問題については、原田⁴⁾が畜産経営における物質循環のフローを明らかにし、家畜種ごとの排泄物を推定するプログラムを開発した。また、広岡⁵⁾は、肉牛肥育と水稻稲作の統合システムにおける窒素還元と生産費をシミュレートするモデルを開発している。しかし、これらの問題について、エネルギー消費（太陽エネルギー及び化石燃料エネルギー）の視点からの検討は十分ではない。そこで、本研究では、エネルギー消費モデルに基づいたシステムシミュレーションによって、いくつかの肉牛生産システムにおいて消費された補助エネルギー消費量と太陽エネルギー利用量を計算し、それらの評価と比較をおこなう。

本研究は、その上で、生物圏の中の問題として肉牛生産を位置づける。近代化された日本の農業は、兼業化、機械化、専門化が進展するにつれ、肉牛生産と稲作生産が互いに独立して存在するようになっていく。肉牛生産では、安い輸入濃厚飼料の多給により集約化された畜舎肥育経営が進み、稲作生産では、コメ消費の減少と国際貿易事情によるコメ輸入などから減反を余儀なくされている。しかし、食料危機、エネルギー源の枯渇などの環境問題に直面している今日、生産効率だけを追求する近代農業を、環境保全、資源の有効利用、社会の持続的発展といった多様な観点から総合的に見直す必要がある。そのためには、物質循環に基づいた低投入、低負荷の循環型農業生産システム、いわゆる、耕畜連携（有機農業）による地域資源の利活用を考えるべきである。そこで、本研究では、環境保全型肉牛肥育・稲作複合システムを構築し、これによる環境負荷の変化を予測する。

上記の課題について論じた本論文の構成は以下の通りである。

第2章では、全世界における牛肉生産・消費の現状及び推移について概観する。特に、オーストラリア、中国、EU（15か国）、日本、アメリカといった代表的な牛肉生産・消費国に対し、肉牛の生産方式、肉牛の生産力及び穀物・飼料生産力を比較することにより、各国の肉牛生産システムの差異を明

らかにする。さらに、それに関連する食料、エネルギー、環境問題についても論じる。

第3章では、現代中国における牛肉を中心とした肉類消費の現状を、統計資料とアンケート調査に基づいて明らかにするとともに、肉類に対する人々の嗜好や消費指向を明らかにする。さらに、統計資料を用いて豚肉、牛肉、鶏肉、羊肉の生産量の変化や、GDP と肉類それぞれの生産量との相関について分析をする。アンケート調査の対象地域には急速な経済発展を遂げている大都市の代表として北京市、やや経済発展の遅れた内陸の地方都市の代表として武漢市、少数民族による異なった文化・歴史背景を持つ地方都市の代表として赤峰市を取り上げた。その結果をもとに現代中国における肉類に対する嗜好や消費動向について明らかにする。

第4章では、エネルギー消費の観点から、「肉牛肥育単独システム」、「肉牛放牧システム」、「肉牛肥育・稲作複合システム」、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」という4つの肉牛生産方式をモデル化する。各生産モデルにおける太陽エネルギーと補助エネルギーの消費量を計算し、「補助エネルギー効率」、「補助エネルギー依存率」という指標により、これらの生産システムの評価と比較をおこなう。

第5章では、システム・ダイナミックス法を用いて、第4章でも検討をおこなった肉牛肥育・稲作複合システムにおける窒素循環モデルを構築する。耕畜連携の観点から、農業副産物であるイナワラの有効利用、堆肥による有機物質の土壌還元、放棄された水田の飼料稲生産地への転換、飼養規模調節などによって、肉牛生産が与える環境負荷の変化を予測する。

第6章では、第2章から第5章までを総括して本論文の結論を述べ、21世紀における望ましい肉牛生産システム及びライフスタイルについて提言をおこなう。

第2章 世界の牛肉生産及び食料・環境問題

2.1 牛利用の歴史

水間ら⁶⁾によると、牛が家畜化されはじめたのは西アジアで、人類が定着農耕時代に入ってからである。その動機として、経済的には肉や皮の利用、宗教的には生贄などが考えられている。畜力の利用は、馱載から始まり、次いで牛に車を引かせ、さらに牛に犁をつないで農耕に使用するなど多方面に拡大してきた。また、糞尿は作物の収量を向上させる肥料として利用することも知られていた。メソポタミア、エジプト、インダス河流域、黄河流域の四大文明の発祥は、栽培植物となった小麦、大麦の作付けと牛の犁耕との結合にその基盤がある。それゆえ、牛は作物生産のための耕作によってきわめて重要なものとされ、繁殖率の低さとも関わって、食肉が禁止されることにもあった。仏教の涅槃経の中にも、「牛は田農を弊す、故に食わざる」というのがある。畜力の利用の他に、ヤギで開発された搾乳技術が牛にも応用され、牛乳が貴重なものとして飲用に供された。発酵乳、バター、チーズなども西アジアの農耕民の間で開発された。また、皮をなめす技術が古代においてすでに開発され、種々の用途に利用されるようになった。さらに、地域によっては乾燥した糞が燃料にも利用されていた。

牛などの反芻動物は、本来の胃の機能を有する第3・4胃の他にも、発酵タンクともいえる巨大なルーメン(第1胃)がある。その中には無数の細菌、プロトゾアなどの微生物が共生している。これらの微生物はセルロースやヘミセルロースなど宿主が利用できないものを、グルコース、ひいては低級脂肪酸に変え、宿主はそれをエネルギー源として利用する。さらに、宿主はその微生物を下部消化管に送りエネルギー源や蛋白源としている。このように、牛は特異な生理機能、すなわち、植物の粗繊維を消化して、蛋白質や脂肪に転換することができるという特性を持っている。それゆえ、人間の食料と競合せずに、農場の副産物や野草を利用して牛を飼育し、乳や肉を生産できた。さらに農耕の不適地である乾燥地、傾斜地・湿地などが、牛の飼育により農業的に利用可能となったといえる。牛は以上のような優れた多くの性質を持

つために、家畜化以後世界各地に伝播され、人間の食料とならない野草などしか生産できない地域で食料を確保する方策として、それぞれの民族のおかれている自然・社会条件の下で広範に利用されたのである。

リフキン⁷⁾によると、1870年代イギリスには、西部の「開放草地」と中西部の「余剰トウモロコシ」があった。西部の牧場主は放牧牛を高く売ることを望み、中西部のトウモロコシ栽培農家は余剰生産物を与える肥育用の牛を大量に求めていた。その結果、両者の思惑が一致し、穀類を濃厚飼料として給餌する高脂肪「霜降牛肉」の生産が始まった。その後、イギリス人が新大陸、アメリカ西部へ移民した際に、イギリス特有の「脂肪質」牛肉への嗜好もアメリカに持ちこんだのである。それはアメリカでの開放草地と余剰トウモロコシを組み合わせた有利な牛肉生産体制の礎となった。そして、アメリカ農業史上初めて、肉牛生産と穀物生産は新たな共生関係のもとに統合したのである。穀物（特にトウモロコシ）を給与し肥育をおこなうフェードロット経営の発展は、第二次世界大戦の直前までは緩やかなペースで進行した。大戦直前には、アメリカでは穀物で飼育されている牛はわずか220万頭で、国内の肉牛総頭数の約5%に過ぎず、国内の中流・上流階級によって消費されていた。しかし、戦後、新しい農業手法がアメリカの農業生産を飛躍的に増加させた。特定の単一栽培穀物の導入、化学肥料と農薬の使用量の増加、農業生産のプロセスの機械化とオートメーション化は、作物収量の著しい増加をもたらし、穀物飼料に基礎をおいた畜産システムの確立を可能にした。1950年から1990年の間に、アメリカにおける牛の総頭数は8千万頭から1億頭に増加し、その大部分はトウモロコシ飼料で肥育されていた。大平原の開放草地と、中西部穀倉地帯の余剰トウモロコシが効果的に結び付けられてから一世紀後の今日、アメリカの43万平方キロの農地で、牛などの家畜用の飼料穀物が年間2億2千万トン生産されている。アメリカでは、家畜（大部分は牛）の穀物消費量は、全国民が直接消費する穀物のほぼ2倍にのぼっている。

2.2 世界の牛肉生産量

まず、FAO 統計¹⁾に基づいた世界各国の牛肉生産量と主要国の牛肉生産量の推移を、それぞれ図 2-1 と図 2-2 に示す。世界の牛肉生産量は 2000 年には 59,947,356 (MT)であり、これは 1961 年の 28,763,094 (MT)に対して 2 倍以上になっている。主な生産地は北米のアメリカ、カナダ、メキシコ、中南米のメキシコ、ブラジル、アルゼンチン、欧州のフランス、ドイツ、イタリア、ロシア、オセアニアのオーストラリア、アジアの中国、インド、ロシアなどである(図 2-1)。近年、アメリカ、EU (15 か国)、日本、オーストラリアなど先進国の牛肉生産量は総じて鈍化ないし停滞傾向にあるなかで、1995 年のブラジル、中国、インドの牛肉生産量は、それぞれ世界の第 2、3、4 位にまで増加している(図 2-2)。このことから、各国の牛肉生産量は、その国の草地面積、飼料生産、気候などの地理条件だけでなく、経済の発展にも強く影響されると考えられる。

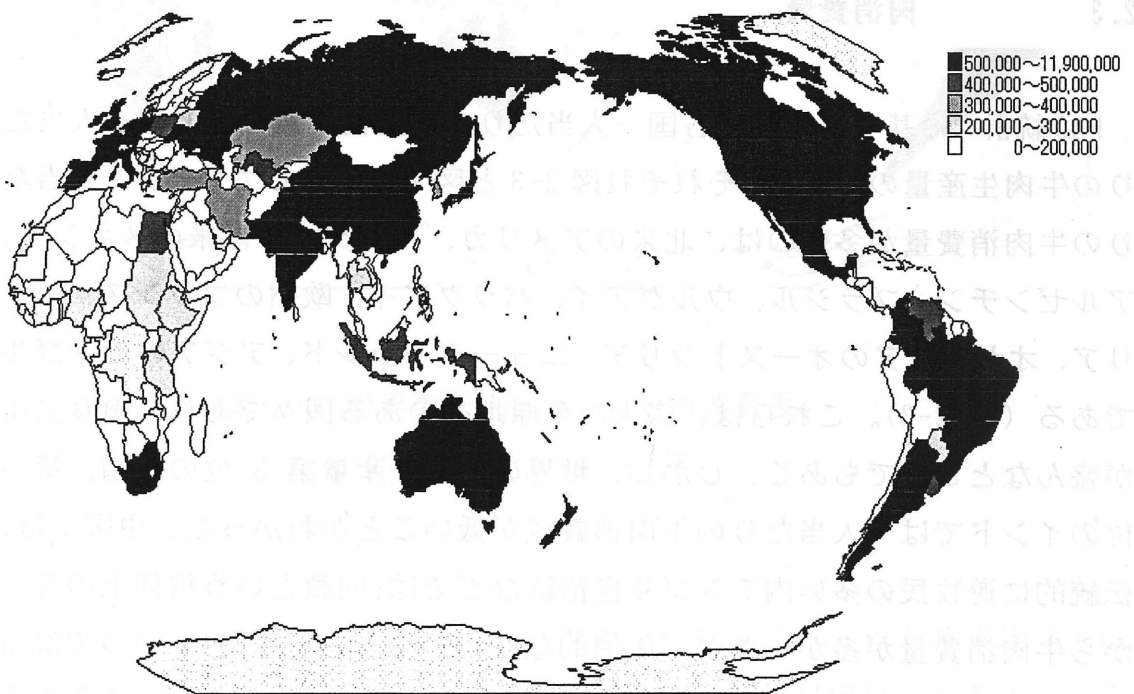


図 2-1 世界の牛肉生産量(1998 年、単位:MT)

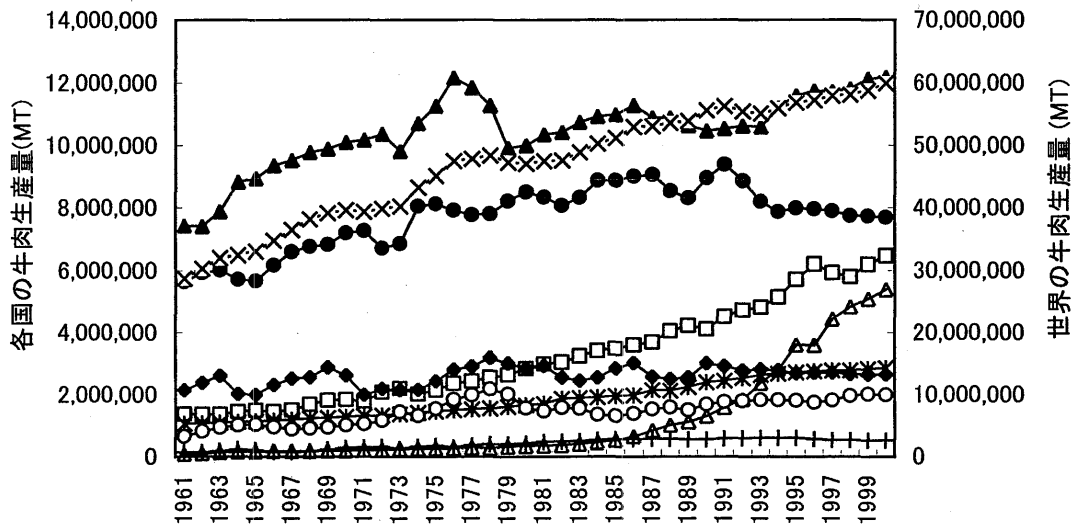


図2-2 主要国の牛肉生産量の推移

□—ブラジル ▲—中国 ▲—アメリカ ◆—アルゼンチン *—インド
 ○—オーストラリア +—日本 ●—EU (15) —x—世界(右目盛)

2.3 世界の牛肉消費量

FAO 統計¹⁾に基づいた世界各国一人当たりの牛肉消費量と主要国一人当たりの牛肉生産量の推移を、それぞれ図 2-3 と図 2-4 に示している。一人当たりの牛肉消費量が多いのは、北米のアメリカ、カナダ、中南米のメキシコ、アルゼンチン、ブラジル、ウルグアイ、パラグアイ、欧州のフランス、イタリア、オセアニアのオーストラリア、ニュージーランド、アジアのモンゴルである（図 2-3）。これらは、広大な草原地帯のある国々であり、肉食文化が盛んなところでもある。しかし、世界の牛肉生産量第 3 位の中国、第 4 位のインドでは一人当たりの牛肉消費量が低いことがわかった。中国では、伝統的に遊牧民の多い内モンゴル自治区などでは、回教という信仰上の理由から牛肉消費量が多かったが、圧倒的なシェアを占める豚肉や、かつては祝い事や寄り合いなどの機会に消費され食材として特別な地位を占めた家禽肉に比べると、主流ではなかったと言える⁸⁾⁹⁾。また、インドでは、宗教による牛肉摂取に対する規制が著しく強いことが理由である。インドで最大の宗

教となっているヒンズー教徒は、人口の 8 割を占め、牛を神の仲間と考えるために、それを使役には供するものの牛肉は食べない。したがって、牛の飼養目的は、役力供給と肥料・燃料生産、牛乳生産となっている。しかし、多くの宗教が混在する印度では牛肉を食べる人々もいる。このような事情のもとでも牛肉生産量が急激に伸びつつある。最近、大都市の消費量の拡大に応えた生産方式の変化は乳に続いて食肉についてもみられることが指摘された¹⁰⁾¹¹⁾。

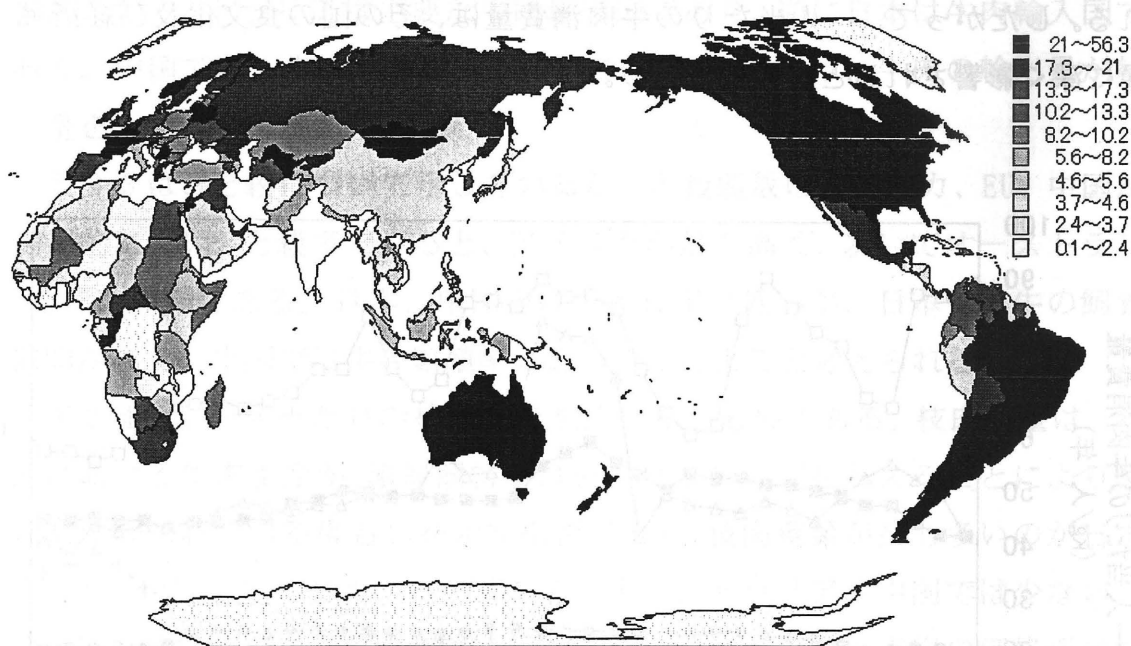


図 2-3 世界の一人当たりの牛肉消費量
(1998 年、単位:kg/人/年)

近年の一人当たりの牛肉消費量は、世界全体で年間一人当たり平均 9.8 kg を維持していたが、先進国全体でみると、牛肉消費量は横ばいか若干減少気味に推移している（図 2-4）。これは、牛肉が豚肉、鶏肉に比べて価格が高いことに加えて、健康に留意する食習慣が一般的となり、脂肪の取りすぎを

危惧する人が多くなっていることも原因と考えられる。日本では、食生活が穀物を中心とした従来型から畜肉依存型に変化したため、1960年代後半から牛肉消費量が増加し、ここ数年は横ばい傾向にある。また、中国では一人当たりの牛肉消費量が依然少ないとはいえ増加を続けている。これは、近年農業の機械化と化学肥料の普及により、牛の利用が役用から肉用に移りつつあること、経済発展に伴う国民所得の増加、西洋食文化の導入などによるものと考えられる。なお、従来から牛肉を食べてきたアルゼンチン、ウルグアイ、ブラジルなどの国も近年牛肉の消費は減少あるいは横ばいの傾向にある。それは経済発展によって、食文化が多様化したことが原因として考えられる。したがって、一人当たりの牛肉消費量は、その国の食文化及び経済発展に深く影響されるといえるだろう。

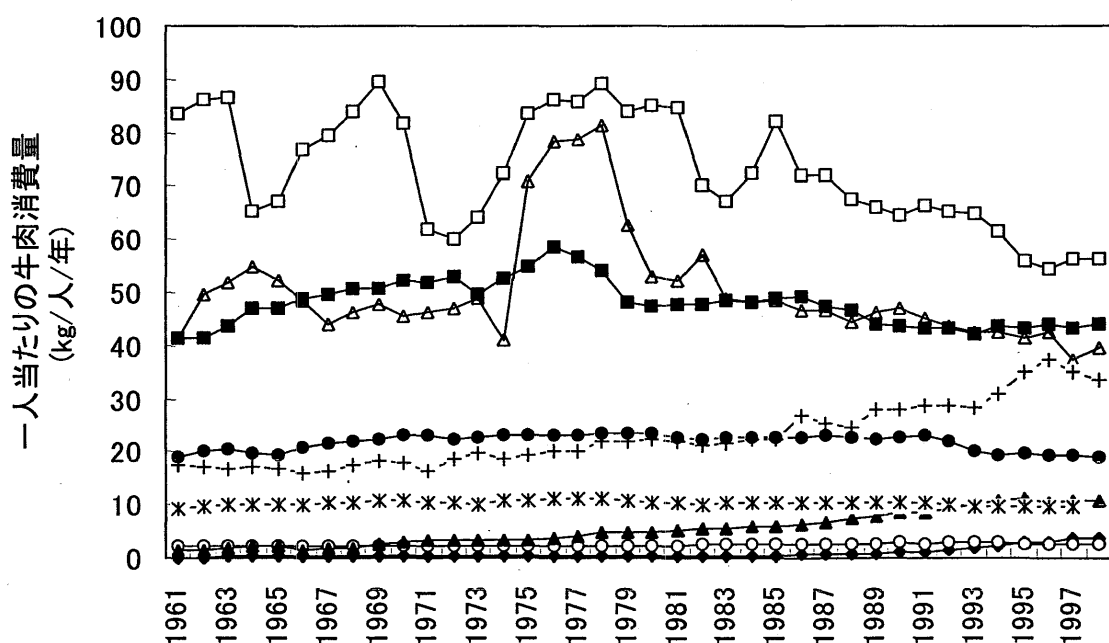


図2-4 主要国の一人当たりの年間牛肉消費量の推移

—□— アルゼンチン —△— オーストラリア —●— 中国 —○— インド —▲— 日本
 —+— ブラジル —■— アメリカ —●— EU(15) —x— 世界平均値

2.4 世界の牛肉生産力

表 2-1 は、オーストラリア、中国、EU（15 か国）、日本、アメリカの牛肉生産量・消費量を示す。アメリカ、EU は主要な牛肉生産国かつ消費国である。また、中国では水牛も食肉として使われている。表 2-2 は、オーストラリア、中国、EU（15 か国）、日本、アメリカの牛肉類の輸出量及び輸入量を示している。アメリカは主要な牛肉輸入国であり、かつ輸出国でもある。これは、アメリカがオーストラリアなどの国から安いハンバーガー用の牛肉を購入し、高い穀物肥育牛を日本などに輸出していることによるものである。また、オーストラリアは主要な牛肉輸出国であり、逆に日本は牛肉輸入国である。中国では、牛肉の輸出入量は多くない。EU では、牛肉の輸出量が輸入量を上回っている。

表 2-3 は、と殺について示しているが、と殺頭数はアメリカ、EU、中国が圧倒的に多い。と殺率でみると、アメリカが最も高く、次いでオーストラリア、EU の順である。日本、中国では、と殺率が低い。日本では牛の飼養期間が長く、中国では牛の繁殖率の低いことによると考えられる。

表 2-4 は、一頭当たりの枝肉重量を比較したものである。枝肉重量は、各国における牛肉生産が、濃厚飼料やコーンサイレージを与えることにより集約的に行われている度合いを示す指標である。枝肉重量が最も多いのが日本であり、次いでアメリカ、EU で多いが、オーストラリアや中国では少ない。日本の枝肉重量が先進国の中で特に重いのは、日本の枝肉市場の価格形成が肉質のグレードによって極端に違うため、長期間肥育して肉質向上を図っているためである。オーストラリアや中国で枝肉重量が小さいのは、牧草、野草のみで肥育をおこない穀類を給与しないグラスフェッド方式が主流となっているためである。

表 2-1 牛肉類の生産量及び消費量 (1998)

	牛肉生産量 (MT)	水牛生産量 (MT)	牛肉消費量 (MT)
オーストラリア	1,955,253	-	735,411
中国	4,494,381	330,403	4,874,000
EU(15)	7,734,975	1,460	7,198,131
日本	529,349	-	1,360,963
アメリカ	11,803,000	-	12,047,663
世界	55,317,139	2,795,771	57,318,154

注：FAO 統計¹⁾より作成。

表 2-2 牛肉類の輸出量及び輸入量 (1998)

	輸入量 (MT)		輸出量 (MT)	
	牛肉	牛肉 (骨なし)	牛肉	牛肉 (骨なし)
オーストラリア	60	1,100	35,365	878,306
中国	3,523	54,806	1,364	18,785
EU(15)	908,315	532,195	996,234	784,233
日本	12,797	653,571	28	77
アメリカ	111,129	712,710	86,514	612,267
世界	1,847,894	3,157,644	1,832,559	3,268,215

注：FAO 統計¹⁾より作成。

表 2-3 と殺率 (1998)

	肉牛頭数 (頭)	と殺頭数 (頭)	と殺率 (%)
オーストラリア	26,710,000	9,320,400	34.9
中国	121,963,643	33,891,752	27.8
EU(15)	83,692,922	27,939,482	33.4
日本	4,708,000	1,320,881	28.1
アメリカ	99,744,000	37,138,000	37.2
世界	1,495,448,566	293,302,677	19.6

注：FAO 統計¹⁾より作成。

表 2-4 枝肉重量 (1998)

	重量(kg/頭)
オーストラリア	210
中国	142
EU(15)	277
日本	401
アメリカ	318
世界	198

注：FAO 統計¹⁾より作成。

2.5 穀物・飼料生産力

表 2-5 は、オーストラリア、中国、EU、日本、アメリカにおける土地利用の内訳を示している。中国、アメリカ、オーストラリアでは、牧草地の割合が高く、放牧による肉牛飼養の潜在的可能性がある。また、これらの国では農耕地の割合も高いため、飼料穀物の生産力が高いと考えられる。日本は国土が狭い上に、その多くが森林であるため、放牧・穀物生産のための土地が限られている。

表 2-6 は、オーストラリア、中国、EU、日本、アメリカの穀物生産量、一人当たりの穀物生産量、穀物輸出入量、穀物消費量に占める飼料の割合を示している。一人当たりの穀物生産量は、オーストラリア、アメリカが圧倒的に多いのに対して、EU は世界平均を上回り、中国は世界平均よりやや低く、日本は世界平均を大きく下回っている。実際、オーストラリア、アメリカは主要な穀物輸出国であり、逆に日本は輸入によって穀物の国内需要をまかなっている。EU の穀物輸出量は輸入量をやや上回っている。中国の穀物輸入量は日本と同じレベルであるが、自給率は 9 割を超えている。また、穀物消費量に占める飼料の割合は、アメリカが 67% で最も高く、中国が 31% で最も低い。

表 2-5 土地利用 (1998)

単位：1,000 (ha)

	国土面積	耕地面積	草地面積	森林面積 (*)	その他
オーストラリア				145,000	
ア	768,230	54,000	418,000		151,230
中国	932,742	135,565	400,001	130,496	266,680
EU(15)	313,187	86,501	56,000	113,251	57,435
日本	37,652	4,905	500	25,000	7,247
アメリカ	915,912	179,000	239,250	295,990	201,672
世界	13,048,407	1,511,766	3,426,531	4,172,384	3,937,726

注：FAO 統計¹⁾より作成。

注：*、1994 年。

表 2-6 穀物統計 (1995)

	穀物生産量 (MT)	一人当 たりの 穀物生 産量 (MT/人)	穀物輸入量 (MT)	穀物輸出量 (MT)	飼料穀物 割合 (%) (*)
オーストラリ					59
ア	31,956,000	1,726	40,357	19,972,814	
中国	391,604,000	310	11,137,000	9,291,000	31
EU(15)	213,859,513	571	40,411,124	55,393,217	59
日本	11,933,530	95	26,996,997	734,292	54
アメリカ	349,610,250	1,276	5,369,597	78,755,563	67
世界	2,079,928,070	352	249,556,470	253,889,528	40

注：FAO 統計¹⁾ 及び資源統計¹²⁾より作成。

注：*、1995-97。

2.6 世界の肉牛生産システムの比較

2.6.1 アメリカ

アメリカ¹³⁾は、肉用牛約 1 億頭を抱える世界最大の牛肉生産・消費国であり、徹底的な生産効率追求型の肉牛飼養を行っている。国土のおよそ 60% が野草地、原野、林地であり、それらが肉牛生産を中心に利用されている。肥育は去勢牛が主体であるが、1950 年代以来の穀物余剰を背景に、フィードロットによる大規模な穀物肥育が進展した。フィードロットには農家型と企業型があり、前者は数 10 頭から 100 頭、多くても数百頭規模で自家産のトウモロコシを与え、肉牛として穀物に付加価値をつけて販売する。後者は 1,000 頭以上の規模であるが、中には 4~5 千 ha の面積に数 10 万頭を飼う規模のものもある。放牧によって育成された素牛を導入して肥育するが、肥育期間は短く、濃厚飼料の給餌は 1 トン以内である。

2.6.2 オーストラリア

オーストラリアの肉牛飼養の特色¹³⁾は、東海岸から内陸部に展開する乾燥地の広大なパンパスの放牧利用にある。オーストラリアは、人口が1,870万人(1999)と少ないため、輸出が牛肉生産の主目的となっている。したがって、牛肉の国際需給と価格の動向に敏感に左右されて牛頭数が増減するという構造を持つ。また、乳肉は明確に分離している。国内消費向け牛肉はグラスフェッドによる350kg仕上げの牛から得られている。野草地といっても草量は少ないので牧養力は低く、面積でカバーする形となっている。しかし、粗放な生産方式のため生産コストは安く、米国にも主にハンバーグ向けとして輸出している。日本に対する牛肉輸出量も多く、日本人の嗜好に合致するように一部では穀物肥育生産も行われている。

2.6.3 ヨーロッパ

従来からフランス、ドイツ、イタリアなどヨーロッパ諸国¹³⁾は肉牛の主要生産地である。そこで、草地を基盤にした乳肉兼用種による乳生産と去勢牛肥育が伝統的であった。それが乳量の多い北米のホルスタイン種の改良により、乳肉分離が始まるとともに、トウモロコシが導入されて、耕地を基盤とした舎飼いでサイレージの利用による仕上げ期間の短い雄牛肥育が始まるようになってきた。雄牛肥育は酪農業の中で主におこなわれていたが、乳肉分離は肉用品種に対する評価を高めたため、肉用牛生産の集約化も始まっていた。しかし、ヨーロッパ各国では国土全体に占める農地率が多くの国で50%を超え、中には70%を超えている国にもある。農業による環境負荷が国土全体の汚染につながりやすい状況となっている。環境問題が最も深刻された今日、EUでは最も厳しい対策が実施されている。そのため、1990年代に入ってから、牛飼養規模の縮小が見られている。

2.6.4 日本

明治以前の和牛飼養¹³⁾は役利用の目的で飼われ、明治以降になって、役肉用となり、1960年代より肉専用種として牛が飼われるようになった。乳用牛の雄子牛は、1965年以前、生まれるとすぐにと殺され、ソーセージなどの原料とされたが、それ以降、人工乳の開発と肥育技術が開発され、乳用雄肥育牛として重要な肉用牛資源となった。近年、輸入自由化や円高により肉牛市場における競争が激しくなるに伴い、枝肉重量や肉質を向上するために長時間の濃厚飼料多給型の集約的な肥育がおこなわれている。和牛の肥育では、若齢肥育は生後10ヶ月の素牛を約19ヶ月肥育し、640kg程度にして出荷する。乳用雄去勢牛の場合は7ヶ月程度の素牛を13ヶ月肥育し、660kgにして出荷している。前者の濃厚飼料給与量は3.3t、後者は3.1tである。資源不足もあって、日本の畜産業は海外の資源や技術に依存する輸入型である。飼料の9割以上は海外より輸入している。

2.6.5 中国

黄牛は中国全土で広く飼育される重要な家畜である。また、水牛も華南および華中の稲作地帯で多く飼育されている。牛は農耕や交通・運搬などの役用や肥料用として、古くから必須なものと認識されてきた。1978年まで、中国ではと殺制限が厳しく、牛は肉用としては生産されていなかった。1979年以後、このような制限が撤廃されたが、未だ牛は役畜目的主体で飼養されていることが多い。一般に、農家における黄牛の飼育は自給飼料を与えるのが原則である。したがって、夏季には野草を自由に食べさせ、冬季にはイナワラやムギワラを主体とし、ごく少量の自家製の濃厚飼料を与えることになる。しかし、近年中国では農業の機械化、化学肥料の普及により、役用牛から肉用牛へと牛の飼育目的の転換が図られている。さらに、高度成長が続く沿海部では、西洋風の食習慣の流入や食生活の多様化により牛肉消費が急増している。特に、北京や上海などの大都市にあるホテルや高級レストランを中心に品質志向が高まり、高級牛肉の需要が増大している。それに伴って、

中国でも穀物を給餌するフィードロット形式による牛の肥育経営が始まっている。

2.7 肉牛生産に関わる食料・エネルギー・環境問題

2.7.1 大量の穀物消費

FAOによると、世界の穀物生産量の約40%に近い8億トンの穀物が家畜（特に牛の飼料）に使われている。60億人に近い世界の人口のうち、8億人が慢性的な飢餓の状態にあると言われているが、世界中の飼料用穀物生産が食料用穀物生産に転換されれば、10億人以上の人口を養えるだけの食料が確保できる計算になる。また、畜産物は迂回生産の典型的なものであり、具体的には、1kg増体させるために必要な穀物は、鶏で2kg、豚では4kg、牛では8kgとされている。つまり、牛肉は畜産物の中で最も贅沢な食品であるということになる。世界の穀物需給が逼迫する中、世界の1/5の人口を抱える中国の食料事情が世界の食料問題に大きな影響を与えることは差し迫った問題である。近年、北京や上海などの大都市において高級牛肉の需要が増加している。それに伴って、それらの大消費地に近い河北省や山東省などでは、フィードロット形式による牛の肥育経営が開始された。中国の牛肉消費水準は1998年には3.8kg/人/年であるが、それがアメリカ並みの水準である40.0kg/人/年になると、年間約5,096万トンの牛肉が必要となる。その需要に応じた飼料のうち70%(ME換算)を穀物として肉牛に与えるとすれば、約5億トンの穀物が必要となる。これは、中国における1995年の総穀物生産量(458,395,561トン)に匹敵し、全世界の穀物生産量(2,079,928,070トン)の22.4%にも相当する。また、図2-5に示すように、飼料穀物要求量は、飼料中の穀物飼料割合および一人当たり牛肉消費量が増加すれば、それに応じて増加する。巨大な人口を抱える中国の牛肉消費が今後も増え続ければ世界の穀物需給に及ぼす影響も非常に大きなものになると考えられる。

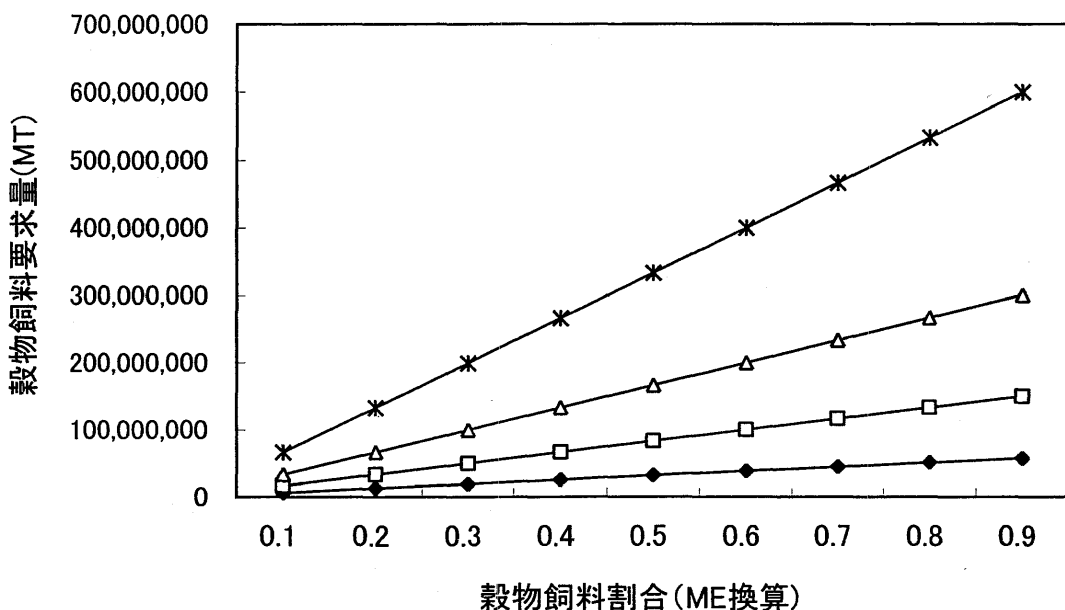


図2-5 穀物飼料割合・一人当たり牛肉消費量と穀物飼料要求量の関係

◆—3.8kg/人/年 □—10kg/人/年 △—20kg/人/年 ※—40kg/人/年

2.7.2 大量の補助エネルギー消費

産業革命以来、人類は工業や科学技術を発展させ、化石エネルギー消費の拡大を続けながら成長を遂げてきた。かつては自然の力を利用して営まれてきた農業分野においても、配合飼料、化学肥料、農薬、動力機械などの資材により、効率的な大量生産が可能になった。このように近代農業は石油、石炭などによる補助エネルギーの大量消費により支えられている。肉牛生産は、従来太陽エネルギーを間接的に利用することにより人間に食料を供給していたが、生産効率を求めて規模を拡大し施設型生産を展開したため、石油などの補助エネルギー消費を増大させている。LCA 実務入門編集委員会¹⁴⁾によれば、家畜配合飼料 1kg を生産するために 2,943Kcal の化石燃料エネルギーが必要となり、畜舎運営のために肉牛一頭当たり 96,725 kcal/年の化石燃料エネルギーが必要となる。したがって、近代的なフェードロット形式の生産システムでは、肉牛一頭当たり年間 400~700 万 kcal の補助エネルギーが必要となる¹⁵⁾。

2.7.3 糞尿による水質・土壌汚染

家畜は摂取した飼料成分の 1/3 以上を糞尿として常に体外に排泄している。肥育牛 1 頭 1 年当たり約 5.5 トンの糞と 3.8 トンの尿を排出していることが報告されている¹⁶⁾。そのうち、有機物含有量は、糞中では原物の 18.0% であり、尿中では原物の 0.5% である。また、窒素含有量は、糞中では 0.4% であり、尿中では 0.8% である¹⁷⁾。畜産統計^{18) 19)}によると、1965 年には日本の肉用牛の頭数は 188.6 万頭であり、年間約 190 万トンの有機物と 10 万トンの窒素を環境に排出したが、1998 年には頭数が 288.1 万頭まで増え、環境に排出する年間の有機物及び窒素の量も約 1.5 倍増え、それぞれ約 290 万トンと 15 万トンとなった。かつて、これらの排泄物は、個々の農家で厩肥として処理・利用されてきた。しかし、飼養集約化、規模拡大といった農業生産の近代化により、排泄物が一定地域に集中し、量も急増したため、その処理に困るようになってきた。浄化処理が不十分なまま、畜舎排水が河川などに流入すると排水に含まれるリンと窒素によって、湖沼の富栄養化や海域の赤潮発生が高まるため、大きな環境問題となってきた。

2.8 まとめ

牛肉の生産・消費は、先進国では総じて鈍化ないし停滞傾向にあるなかで、発展途上国では大幅に増加したため、世界全体では増加の傾向が見られている。今後とも、発展途上国の経済発展や人口増加に伴って、牛肉の生産・消費量はさらに増大すると考えられる。アジア、特に中国の経済発展はめざましく、それに伴う一人当たりの動物性蛋白質摂取量の増加は、世界の穀物需給に多大な影響を与えるだろう。また、肉用牛生産の規模拡大、集約化に起因する補助エネルギーの大量消費、廃棄物や汚染物質の排出により環境負荷の増大が継続すれば、我々の直面する資源・環境問題を解決することは不可能となる。このような問題解決のためには、消費エネルギー量が少なく、環境負荷の小さい、穀物節約型の肉牛生産システムが望まれる。その具体的な方法については第 4 章及び第 5 章で検討する。

第3章 中国の牛肉消費性向に関する事例分析

3.1 はじめに

伝統的に豚肉を食する中国においても、急速な経済成長、食生活の多様化にしたがって牛肉に対する需要が高まっている。北京や沿海部の大都市では外資系資本によるファーストフード店や韓国の焼き肉料理店などが人気であり、外国食文化の流入や食生活の多様化による牛肉の消費が急増している。北京市をはじめ多くの大都市にオープンしているマクドナルドは客であふれており、このようなファーストフードが中国の食文化と中国人の味覚を大きく変えた³⁷⁾とされている。中国における牛肉生産量は、1999年には4,674,333MTであり、これは1961年の43,682MTに対して約107倍になっており、中国の牛肉生産量は、アメリカ、ブラジルに次いで世界第3位となった¹⁾。中国における牛肉消費は経済成長や人口増加に伴って、今後も大幅な増加が予想されているが、牛肉は畜産物の中では最もエネルギーの転換効率が低く、その生産には大量の穀物を消費している。そのため、肉牛の飼養頭数の増加は食料問題という観点からみると大きな課題を抱えている。FAOによると、世界の穀物消費量の40%は家畜の飼料として消費されているが、その一方で60億人の世界人口のうち8億人が慢性的な栄養不良の状態にある¹²⁾とされている。中国においても、総穀物消費量に対する飼料用穀物の割合は1985-1987年に18%であったのが、1993-1995年には31%まで増加した¹²⁾。また、中国における肉牛の飼養に要する穀物量は、1990~1992年には年間536万トンであったが、2000年には年間732万トンになると推定されている²¹⁾。

歴史的に見れば、春秋時代の中国では、馬、牛、羊、鶏、犬、豚といった肉類が君主の餐宴や祭祀など儀礼的な食事に使われていた²⁰⁾。古代の書物にも「肉」がたびたび登場し、「ごちそう」の比喻として多く使われている²⁰⁾。このような肉食の意味は時代とともに変化してきたが、現代中国においても各種肉類に対する嗜好や消費は地域によって異なっており、地域固有の生活、風土、文化、歴史と密接に結びついている。本章では、統計資料とア

ンケート調査に基づいて、現代中国における牛肉を中心とした肉類消費の現状を明らかにするとともに、肉類に対する人々の嗜好や消費に関してアンケート調査によって明らかにする。

3.2 調査方法

3.2.1 統計資料調査の概要

統計資料調査では、FAO 統計¹⁾から、アメリカ、ブラジル、中国、オーストラリア、カナダ、EU の牛肉生産量の推移を調べ、次に中国国内における豚肉、牛肉、鶏肉、羊肉の生産量の変化を調査した。さらに、中国における肉類消費量の伸びは GDP の伸びと関係があるという仮説を検証するため、中国統計年鑑⁵⁻¹⁷⁾による中国の GDP と FAO 統計による肉類それぞれの生産量との相関を調べた。また、中国国内でも、これらの肉類生産量は一様でないと考えられるため、北京市、湖北省、内モンゴル自治区それぞれについて、これらの肉類生産量の変化を中国統計年鑑²²⁻³⁴⁾により調査した。なお、北京市、湖北省、内モンゴル自治区それぞれの鶏肉生産量に関しては適当なデータを見つけることができなかった。

3.2.2 アンケート調査の概要

アンケート調査は 1999 年 10～12 月に、北京市、湖北省武漢市、内モンゴル自治区赤峰市の 3 ヶ所(図 3-1)で実施した。広大な中国をカバーする大規模な調査はできなかったが、北京市は急速な経済発展を遂げている大都市の代表として、武漢市はやや経済発展の遅れた内陸の地方都市の代表として、赤峰市は少数民族による異なった文化・歴史背景を持つ地方都市の代表として選定した。中国では、政治的事情から不特定多数を対象としたアンケート調査を行うことは非常に困難であり、郵送や街頭面接の方法を採ることができなかった。そこで、北京市、武漢市、赤峰市において、知り合いの紹介などを通じた面接方式によりアンケート調査を行った。アンケートの内容は、回答者の属性、各種肉類に対する印象や嗜好、外国食文化の導入、高級牛肉

に対する意識などである（付録）。

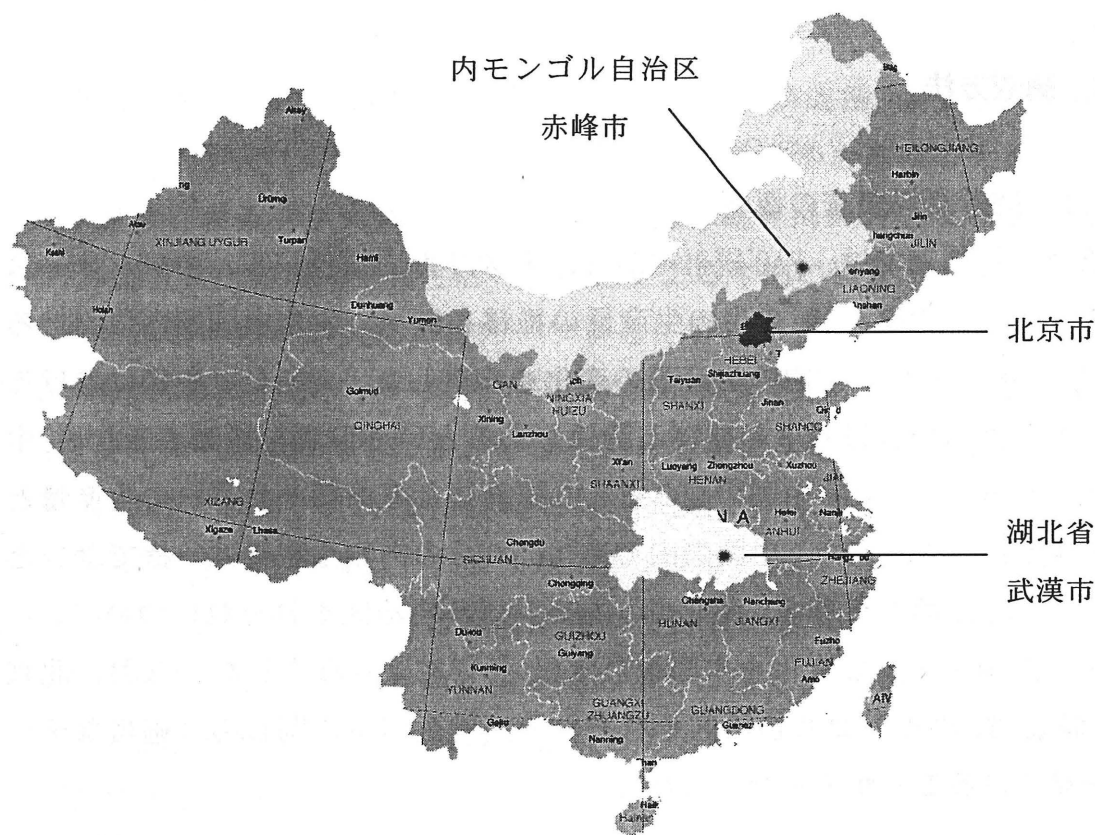


図 3-1 調査先

3.2.3 調査地の概要

北京市は人口約 1,200 万人を抱える中国の首都であり、政治・文化・経済の中心でもある。武漢市は湖北省の省都であり、人口は約 700 万人である。湖北省は、中国中部の長江中流域にひろがる省であり、省内には湖が数多くある。このような地理的条件のため、湖北省では多くの魚が水揚げされている。赤峰市は、内モンゴル自治区の東側に位置しており、人口は約 400 万人である。赤峰市の郊外には広い草原があり、羊や牛などの肉類が重要な食料となっている。一方、このような草原地帯では、魚、野菜、果物などを手に

入れることは非常に困難である。内モンゴル自治区は中国北部にあり、多くの人々が遊牧生活をしている。草原地帯には、地下資源も豊富にあり、鉄鉱、石炭、石油などが採掘されている。

収入でみると、北京市、湖北省、内モンゴル自治区の労働者の平均年収は、11,019 元、5,124 元、5,401 元と北京市が圧倒的に高い¹⁷⁾。また、現代中国における肉類の値段に関しては、最も高いのが牛肉と鶏肉で、続いて豚肉、羊肉の順²⁰⁾と言われているが、実際に 1999 年 11 月に天津市で調査したところ、豚肉、牛肉、羊肉、鶏肉の値段は、それぞれ 12~13 元/kg、13~14 元/kg、16~18 元/kg、10~12 元/kg 程度であった。高級牛肉に限ってみると、同時期に北京市で行った調査から、その値段は 50 元/kg 程度であった。いずれにしても、現代中国において牛肉は高級な部類に入ると言えるだろう。

3.3 結果と考察

3.3.1 統計資料調査の結果

図 3-2 は、中国における豚肉、牛肉、羊肉、鶏肉生産量の変化を示している。この図から、中国においてもともと生産量の多かった豚肉や鶏肉の生産量がさらに急激に伸びていることがわかる。最も生産量が多いのは豚肉であるが、現代中国において「肉」と言えば豚肉と言ってよい²⁰⁾ほど一般的な肉である。量的には豚肉や鶏肉に及ばない牛肉や羊肉も 1980 年代後半以降生産量が増大しており、特に牛肉の生産拡大が著しい。中国は、1979 年の改革・開放路線に沿って、農業の請負制や経済特区の設置と外資導入などによって急速な経済成長を実現した。このような社会的背景のもとで、中国の GDP は、1980 年頃より急速に増大したが、GDP と豚肉、牛肉、羊肉、鶏肉生産量の相関を示したのが図 3-3 であり、相関係数は、それぞれ 0.899、0.996、0.968、0.991 となっている。GDP と最も相関が高いのが牛肉であり、次いで羊肉という結果になった。

次に、1985 年から 1997 年までの北京市、湖北省、内モンゴル自治区の肉

類生産量の変化を図 3-4 に示した。この図において、右側の縦軸は 1985 年の生産量を 100 とした場合の相対値である。この図から、北京市では近年豚肉の生産量が頭打ちの傾向にある。湖北省では、豚肉の生産量が減少する一方で、牛肉の生産量が増加している。内モンゴル自治区では従来から羊肉や牛肉が生産されていたが、遊牧を行っているモンゴル族が羊や牛を飼育しているためである。近年、内モンゴル自治区ではすべての肉類の生産量が増加しているが、北京市・湖北省と違って豚肉の生産量も増加傾向にある。遊牧を行う草原には豚がいなかったため、モンゴル族は本来豚肉を食べなかったわけである³⁵⁾が、豚肉の生産量が増加しているのは、人々の生活が遊牧生活から定住生活へと変化して豚の飼育を始めたためであると考えられる。また、相対値でみると、北京市、湖北省、内モンゴル自治区すべてにおいて、牛肉生産の伸びが目立つ。とりわけ北京市、湖北省においては、1985 年当時に比べ 20～30 倍になっている。

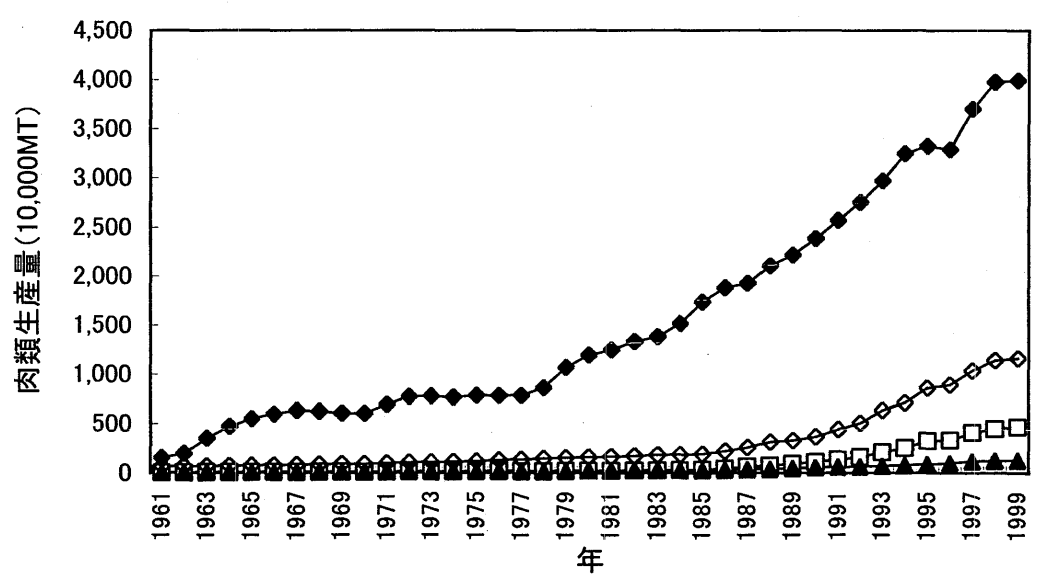


図3-2 中国における肉類生産量の推移

—◆— 豚肉 —□— 牛肉 —▲— 羊肉 —◇— 鶏肉

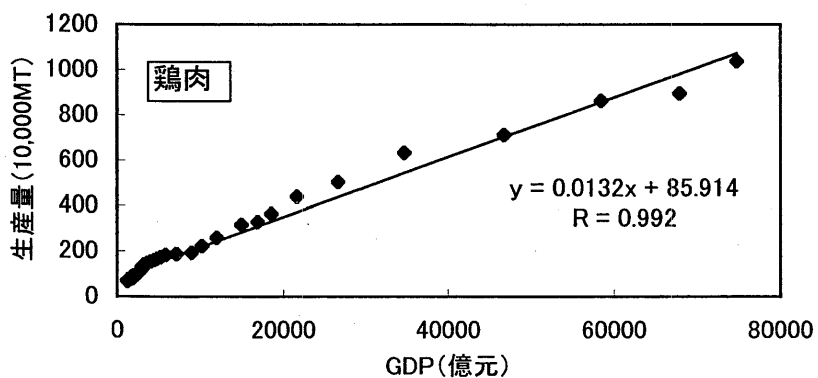
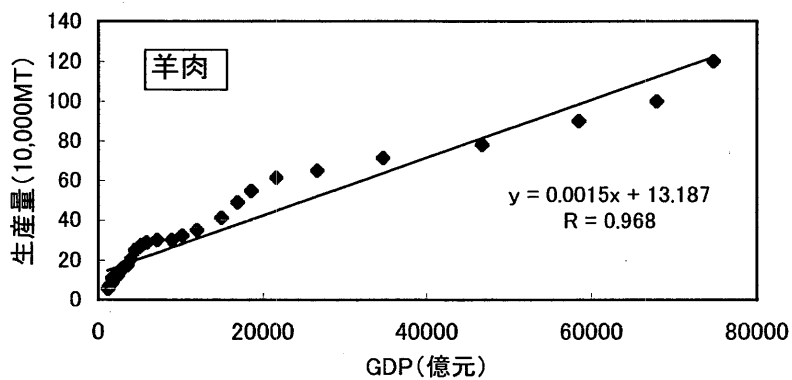
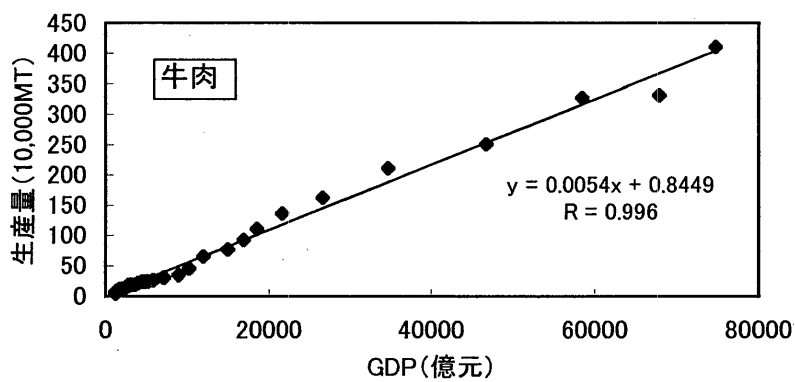
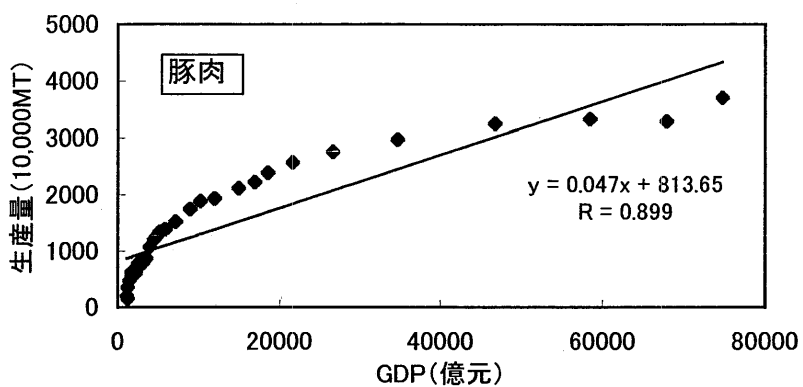


図3-3 中国におけるGDPと肉類生産量の関係

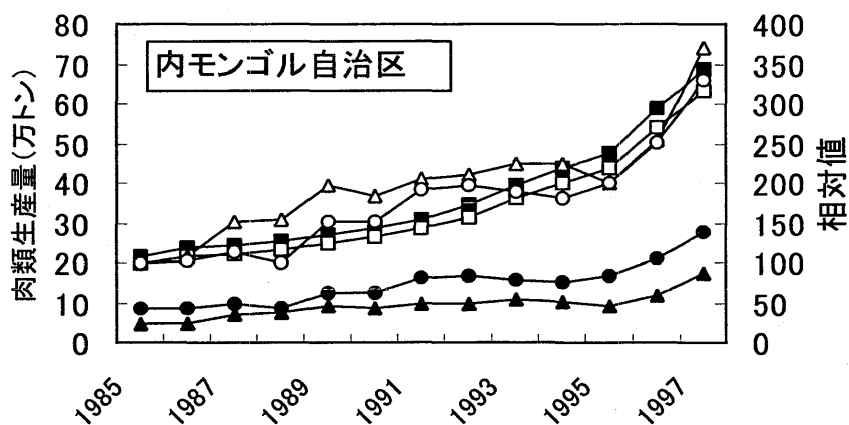
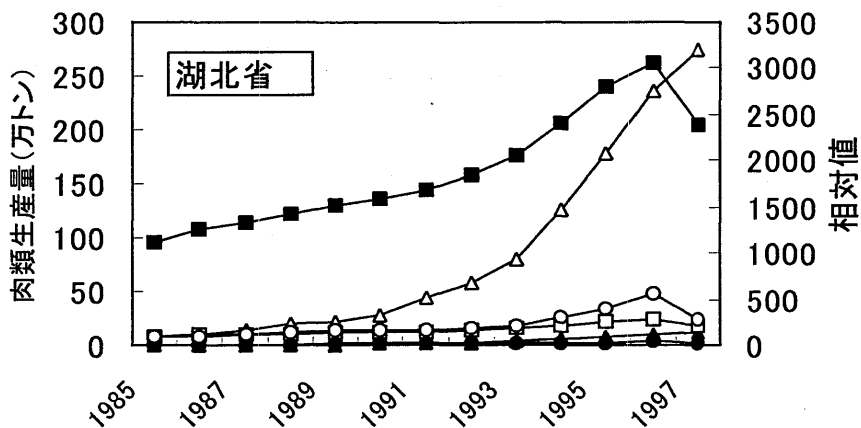
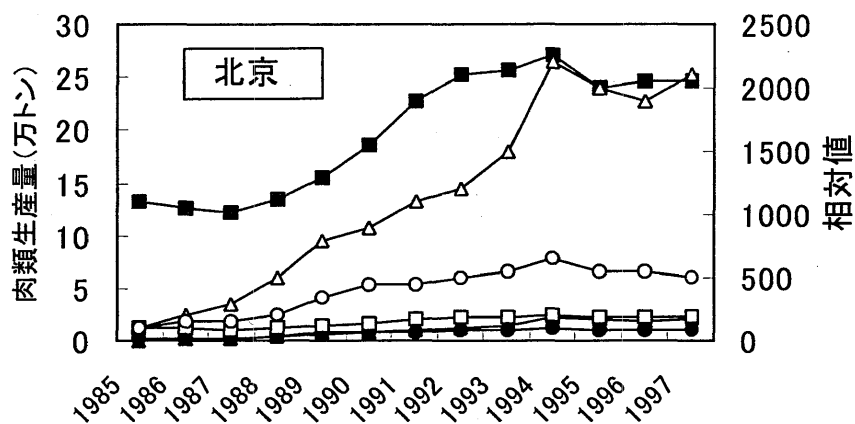


図3-4 肉類生産量の推移

■—豚肉(生産量) ▲—牛肉(生産量) ●—羊肉(生産量)
 □—豚肉(相対値) △—牛肉(相対値) ○—羊肉(相対値)

3.3.2 アンケート調査の結果

3.3.2.1 回答者の属性

アンケート調査により回収された回答者数は、北京市 108、武漢市 98、赤峰市 70 であった。表 3-1 は、回答者の属性を示している。

表 3-1 回答者の属性

		北京市	武漢市	赤峰市
性別	男	46	52	40
	女	62	46	30
年齢	19 歳以下	1	6	4
	20～29 歳	38	65	24
	30～39 歳	29	16	27
	40～49 歳	17	9	4
	50～59 歳	15	1	1
	60 歳以上	8	1	0
世帯人数	1 人	7	1	1
	2 人	13	3	6
	3 人	45	47	34
	4 人	30	22	15
	5 人	6	14	8
	6 人以上	3	6	4
	無回答	0	2	1
世帯年収	2,000 元未満	5	10	4
	2,000～9,999 元	7	21	33
	10,000～19,999 元	34	32	22
	20,000～49,999 元	48	22	4
	50,000～99,999 元	11	7	5
	100,000 元以上	2	6	2
	無回答	1	0	0
職業	工場労働者	6	3	1
	経営者	2	3	3
	公務員	37	20	41
	会社員	21	4	18
	学生	12	35	3
	専門職	15	27	2
	無職	6	3	0
	無回答	9	3	2

北京市では女性の比率がやや高く、武漢市と赤峰市では男性の比率がやや高かった。回答者の年齢についてみると、武漢市では20代の回答者が多かったため、今回の調査では若い世代の考えを反映した結果となっている。回答者の世帯人数についてみると、大都市である北京市では1人あるいは2人世帯が比較的多い。回答者の世帯年収については、北京市の世帯年収の高さがきわだっている。回答者の職業についてみると、北京市・赤峰市では公務員が多く、武漢市では学生が多かった。

3.3.2.2 嗜好と消費

表3-2は、肉と魚ではどちらが好きかを尋ねた結果であり、 χ^2 検定（適合度検定）の結果、北京市と武漢市では有意差が認められなかった。赤峰市では、有意水準1%で有意差が認められ、魚より肉の方が好きという結果になった。これは、赤峰市が内陸に位置することに加えて、中国北方の民族は騎馬民族の系統であるため昔から肉食が相当進んでいた³⁾という歴史的背景によるものと考えられる。

次に、豚肉、牛肉、羊肉、鶏肉の中で、どの肉が好きかを複数回答方式で尋ねた結果を表3-3に示す。この表から、北京市では、豚肉および牛肉が好まれていることがわかる。また、武漢市では鶏肉が好まれているが、羊肉はあまり好まれていない。赤峰市では豚肉、牛肉、羊肉が好まれていたが、これは図3-4に示した肉類の生産量の伸びを裏付ける結果であると言える。

表3-4は、どの肉をよく食べるかを複数回答方式で尋ねた結果である。この表によると、北京市では豚肉を「よく食べる」とする回答者が圧倒的に多い。武漢市でも豚肉が多く、赤峰市では豚肉と羊肉が多いという結果になった。すべての地域で豚肉がよく食べられているという結果になったが、豚肉が中華料理で多用される最も一般的な肉であることによるものと考えられる。

豚肉を「好き」とした割合は、北京市、武漢市、赤峰市でそれぞれ69%、46%、63%（表3-3）であったのに対して、豚肉を「よく食べる」とした割合は、それぞれの地域で87%、65%、74%（表3-4）であった。豚肉はすべ

ての地域で「好き」より「よく食べる」と回答した比率が高くなっており、現代中国において日常的に食されていることがわかる。一方、牛肉を「好き」とした割合は、北京市、武漢市、赤峰市でそれぞれ 64%、44%、60%（表 3-3）であったのに対して、牛肉を「よく食べる」とした割合は、それぞれの地域で 48%、34%、40%（表 3-4）であった。牛肉は豚肉と同じく多くの人々に好まれているが、豚肉が中華料理で多用される肉であること、豚肉よりもやや値段も高いことから、牛肉はそれほど頻繁に食べられていないという結果を示している。この結果は、牛肉に対しては潜在的な需要があるものの、経済的理由から消費に結びついていないことが考えられる。それゆえ、今後の中国における経済成長、食生活の多様化に伴い、牛肉消費量が増大する可能性が十分にあると思われる。また、羊肉を「好き」とした割合は、北京市、武漢市、赤峰市でそれぞれ 41%、29%、69%（表 3-3）であったのに対して、羊肉を「よく食べる」とした割合は、それぞれの地域で 26%、18%、51%（表 3-4）であった。羊肉は比較的高価であることもあり、牛肉と同じような傾向を示した。赤峰市では、羊肉が好まれていて、よく食べられていると言う結果になったが、草原で遊牧をしているモンゴル族の場合、「肉」と言えば羊肉を連想する³⁵⁾ほど、羊肉が日々の生活に密着しているためであろう。鶏肉を「好き」とした割合は、北京市、武漢市、赤峰市でそれぞれ 44%、55%、43%（表 3-3）であったのに対して、鶏肉を「よく食べる」とした割合は、それぞれの地域で 48%、40%、23%（表 3-4）であった。赤峰市では、鶏肉が好まれているにもかかわらず、あまり食べられていないのが特徴的であるが、この地域では比較的鶏肉が手に入りにくいといった事情によるものであろう。

次に、牛肉を食べる量を今後増やしたいかどうか尋ねた結果を表 3-5 に示す。この表から、「増やしたい」と答えた人は、北京市、武漢市、赤峰市でそれぞれ 69%、49%、79%であり、いずれの地域も高い比率であった。「現状のまま」は、すべての地域で「増やしたい」よりも少なく、「減らしたい」はさらに少なかった。武漢市では牛肉に対する嗜好や食べる頻度が比較的低いが、ヒアリングの結果、「（重量を水増しするために）販売業者が牛肉に水を吸わせている」「（武漢市で多く販売されている）水牛肉はおいしくな

い」「（肉牛の）病気が怖い」といった牛肉に対して悪いイメージを持っている回答が見られた。

表 3-2 肉と魚に対する嗜好の比較

	肉が好き	魚が好き
北京市	56 (51.9)	52 (48.1)
武漢市	55 (56.1)	43 (43.9)
赤峰市	47 (67.1)	23 (32.9)

注：カッコ内の数値はパーセント。

表 3-3 肉類に対する嗜好の比較（複数回答方式）

	豚肉	牛肉	羊肉	鶏肉
北京市	74 (68.5)	69 (63.9)	44 (40.7)	47 (43.5)
武漢市	45 (46.0)	43 (43.9)	28 (28.6)	54 (55.1)
赤峰市	44 (62.9)	42 (60.0)	48 (68.6)	27 (42.9)

注：カッコ内の数値はパーセント。

表 3-4 よく食べる肉類の比較（複数回答方式）

	豚肉	牛肉	羊肉	鶏肉
北京市	94 (87.0)	52 (48.1)	28 (25.9)	52 (48.1)
武漢市	64 (65.3)	33 (33.7)	18 (18.4)	39 (39.8)
赤峰市	52 (74.3)	28 (40.0)	36 (51.4)	16 (22.9)

注：カッコ内の数値はパーセント。

表 3-5 牛肉消費量の増減

	増やしたい	減らしたい	現状のまま
北京市	72 (66.7)	6 (5.6)	30 (27.8)
武漢市	49 (50.0)	13 (13.3)	36 (36.7)
赤峰市	55 (78.6)	5 (7.1)	10 (14.3)

注：カッコ内の数値はパーセント。

3.3.2.3 外国食文化

次に、外国食文化の導入に関して質問を行った。この質問では、「ステーキ」、「焼き肉」、「寿司」、「ハンバーガー」、「ピザ」、「カレーライス」それぞれについて、「食べたことがある」、「聞いたことがある」、「知らない」の中から回答者に選んでもらった。表 3-6 によると、「食べたことがある」とした回答者の比率は、すべての食べ物について北京市が最も高いという結果になった。これは、北京市が中国の首都であり、外国企業や外国人が多いこともあって、ファーストフード店、日本料理店、韓国料理店なども多数進出していることによるものであると考えられる。また、「ステーキ」、「焼き肉」を「食べたことがある」比率に関しては、北京市に次いで赤峰市の比率が高かった。この地域には昔から「焼き肉」を食べる習慣がある上、朝鮮半島や朝鮮民族が多く住む東北三省（黒竜江省、吉林省、遼寧省）に地理的に近いこともあって、韓国料理店も多く存在しているためであると考えられる。その他の「寿司」、「ハンバーガー」、「ピザ」、「カレーライス」を「食べたことがある」比率に関しては、北京市に次いで武漢市の比率が高いが、武漢市は工業都市であり、外国の食文化の導入が、北京市ほどではないものの、赤峰市より進んでいるためであろう。

さらに、「韓国料理」、「日本料理」、「フランス料理」、「イタリア料理」それぞれについても、「食べたことがある」、「聞いたことがある」、「知らない」の中から回答者に選んでもらった。表 3-6 によると、「食べたことがある」とした回答者の比率は、すべての料理について北京市が最も高いという結果になった。

表 3-6 外国食文化の導入

		北京市	武漢市	赤峰市
ステーキ	食べたことがある	96 (88.9)	54 (55.1)	53 (75.7)
	聞いたことがある	12 (11.1)	32 (32.7)	15 (21.4)
	知らない	0 (0.0)	12 (12.2)	2 (2.9)
	無回答	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
焼き肉	食べたことがある	92 (85.2)	68 (69.4)	57 (81.4)
	聞いたことがある	15 (13.9)	15 (15.3)	8 (11.4)
	知らない	0 (0.0)	15 (15.3)	5 (7.1)
	無回答	1 (0.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
寿司	食べたことがある	45 (41.7)	19 (19.4)	9 (12.9)
	聞いたことがある	42 (38.9)	40 (40.8)	13 (18.6)
	知らない	17 (15.7)	37 (37.8)	46 (65.7)
	無回答	4 (3.7)	2 (2.0)	2 (2.9)
ハンバーガー	食べたことがある	105 (97.2)	52 (53.1)	32 (45.7)
	聞いたことがある	3 (2.8)	29 (29.6)	15 (21.4)
	知らない	0 (0.0)	17 (17.3)	19 (27.1)
	無回答	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (5.7)
ピザ	食べたことがある	92 (85.2)	32 (32.7)	9 (12.9)
	聞いたことがある	16 (14.8)	47 (48.0)	22 (31.4)
	知らない	0 (0.0)	18 (31.4)	33 (47.1)
	無回答	0 (0.0)	1 (1.0)	4 (5.7)
カレーライス	食べたことがある	79 (73.1)	27 (27.6)	8 (11.4)
	聞いたことがある	24 (22.2)	46 (46.9)	17 (24.3)
	知らない	5 (4.6)	24 (24.5)	40 (57.1)
	無回答	0 (0.0)	1 (1.0)	5 (7.1)
韓国料理	食べたことがある	55 (50.9)	13 (13.3)	22 (31.4)
	聞いたことがある	48 (44.4)	57 (58.2)	28 (40.0)
	知らない	5 (4.6)	28 (28.6)	20 (28.6)
	無回答	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
日本料理	食べたことがある	53 (49.0)	16 (16.3)	4 (5.7)
	聞いたことがある	51 (47.2)	51 (52.0)	40 (57.1)
	知らない	3 (2.8)	31 (31.6)	26 (37.1)
	無回答	1 (0.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
フランス料理	食べたことがある	19 (17.6)	12 (12.2)	1 (1.4)
	聞いたことがある	79 (73.1)	54 (55.1)	42 (60.0)
	知らない	8 (7.4)	31 (31.6)	27 (38.6)
	無回答	2 (1.9)	1 (1.0)	0 (0.0)
イタリア料理	食べたことがある	24 (22.2)	10 (10.2)	2 (2.9)
	聞いたことがある	73 (67.6)	55 (56.1)	40 (57.1)
	知らない	10 (9.3)	32 (32.6)	28 (40.0)
	無回答	1 (0.9)	1 (1.0)	0 (0.0)

注：カッコ内の数値はパーセント。

次に、霜降牛肉を食べてみたいかどうかについて質問を行った。これは、高級でおいしい牛肉として日本で知られている霜降牛肉が、中国においても今後普及するかどうかを知るためである。中国では、当然霜降牛肉に関しては知らない人も多いと考えられるので、この質問では霜降牛肉に関する説明と写真を加えることにした。その説明では、1. 霜降牛肉がやわらかくてとてもおいしいこと、2. 値段の高い高級牛肉であること、3. その生産には大量の穀物飼料を要すること、4. 脂肪量が多いため頻繁に食べると心臓病や高血圧などを引き起こす原因になること、という情報を回答者に与えた。結果は表 3-7 に示すとおり、すべての地域で「食べたくない」とした回答が「食べたい」とした回答をやや上回った。その差は赤峰市で最も大きかった。この質問で「食べたい」と答えた人に対して、複数回答方式によりその理由を尋ねた結果、北京市では「おいしい」からと答えた比率が圧倒的に高く、武漢市、赤峰市では「珍しい」からという比率が最も高かった（表 3-8）。その他の回答は、ほとんど「一度食べてみたい」という興味を示したものであった。また、この質問で「食べたくない」と答えた人に対して、複数回答方式によりその理由を尋ねた結果、すべての地域で「価格が高い」という回答が多かったが、北京市では「健康に悪い」という回答がわずかの差で最も多かった（表 3-9）。これは、北京市では、食品の安全や健康に留意するという先進国の考え方がある程度広まっているためであると考えられる。その他の回答は、「見たことがない」、「高級牛というものを認識できるまでに時間がかかる」、「贅沢をしたくない」、「自然の中で育てられた牛の方がおいしい」、「日常的なものではない」といったものであった。

表 3-7 霜降牛肉に対する嗜好

	食べたい	食べたくない
北京市	50 (46.3)	58 (53.7)
武漢市	25 (35.7)	45 (64.3)
赤峰市	46 (46.9)	52 (53.1)

注：カッコ内の数値はパーセント。

表 3-8 霜降牛肉を食べる理由（複数回答方式）

	おいしい	珍しい	高級である	その他
北京市	42 (84.0)	17 (34.0)	8 (16.0)	4 (8.0)
武漢市	24 (52.2)	30 (65.2)	6 (13.0)	2 (4.3)
赤峰市	9 (36.0)	15 (60.0)	4 (16.0)	2 (8.0)

注：カッコ内の数値はパーセント。

表 3-9 霜降牛肉を食べない理由（複数回答方式）

	値段が高い	健康に悪い	穀物消費が多い	その他
北京市	39 (67.2)	40 (69.0)	6 (10.3)	3 (5.2)
武漢市	45 (86.5)	18 (34.6)	8 (15.4)	5 (9.6)
赤峰市	35 (77.8)	21 (46.7)	8 (17.8)	5 (11.1)

注：カッコ内の数値はパーセント。

3.3.2.4 イメージ・意識の評価

本研究では、豚肉、牛肉、羊肉、鶏肉それぞれに対する地域による人々の印象や意識とその違いを評価するために数量化Ⅲ類を用いた分析を行った。数量化Ⅲ類は、主成分分析と同様に、変数（カテゴリー）間の類似性を検討し、それらの背後にある潜在的な因子を抽出するもので、カテゴリーに対する反応が 2 値データの場合に用いられる³⁶⁾。この調査では、豚肉、牛肉、羊肉、鶏肉のそれぞれが、「高級感がある」、「家族に好まれる」、「おいしい」、「伝統的」、「庶民的」、「食べやすい」、「料理が簡単」、「安価である」、「栄養がある」、「珍しい」といった項目に該当するか否かを尋ねた。表 3-10 に第 4 軸までの固有値、相関係数、累積寄与率を示したが、第 4 軸までの累積寄与率は 58.0%であった。図 3-5、3-6、3-7 にそれぞれ第 1 軸と 2 軸、3 軸、4 軸について変数をプロットしたグラフを示した。図 3-5 では、右側に「高級感がある」、「珍しい」があり、左側には「伝統的」があるため、第 1 軸を「現代－伝統」性に関する軸と解釈した。また、この図において、上側には「家族に好まれる」、「栄養がある」、「おいしい」、「料理が簡単」があり、下側には「高級感がある」、「珍しい」、「伝統的」があるため、第 2 軸を「日常－非日常」性に関する軸と解釈した。図 3-6 では、下側に「高級感がある」、「家族に好まれる」、「おいしい」、「伝統的」があり、上側に「珍しい」、「食べやすい」、「料理が簡単」、「安価」があるため、「嗜好－非嗜好」性に関する

る軸と解釈した。図 3-7 では、下側に「珍しい」、「栄養がある」があるため、第 4 軸を「健康食－非健康食」に関する軸とした。中国には、栄養のある珍しい食品や漢方薬が数多くあるため、そのような健康食に関連する軸と解釈した。

表 3-10 数量化Ⅲ類による分析結果

	固有値	相関係数	累積寄与率	軸の解釈
第 1 軸	0.247	0.497	0.193	現代－伝統
第 2 軸	0.181	0.426	0.335	日常－非日常
第 3 軸	0.173	0.416	0.470	嗜好－非嗜好
第 4 軸	0.140	0.374	0.580	健康食－非健康食

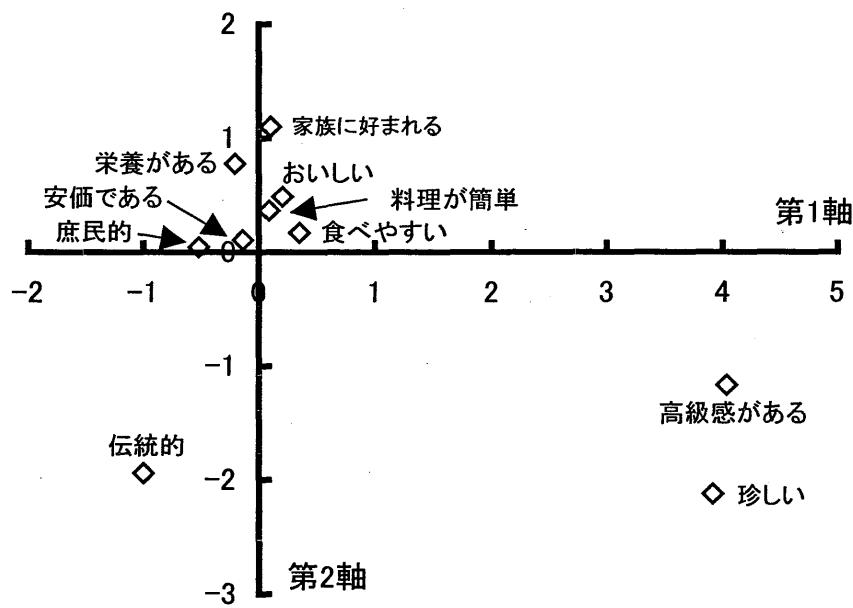


図3-5 カテゴリースコア(第1軸×第2軸)

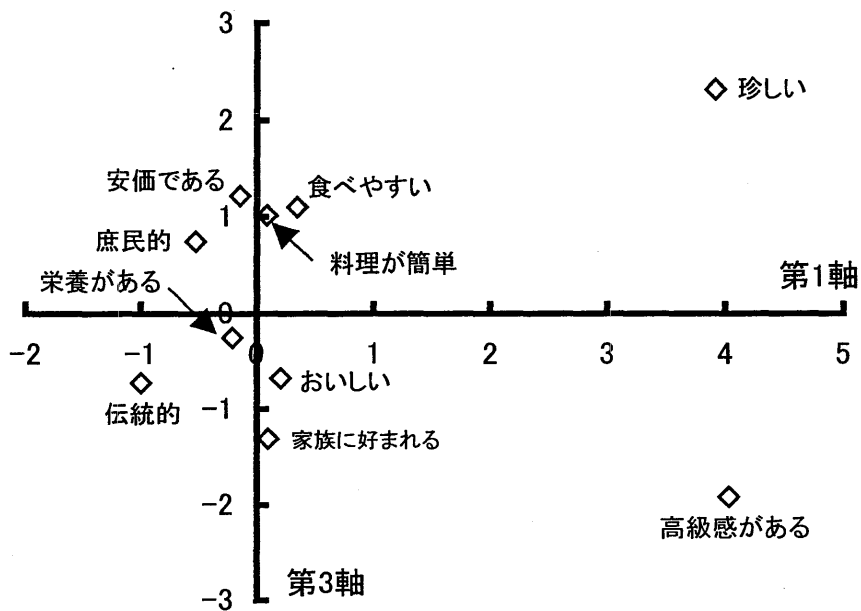


図3-6 カテゴリースコア(第1軸×第3軸)

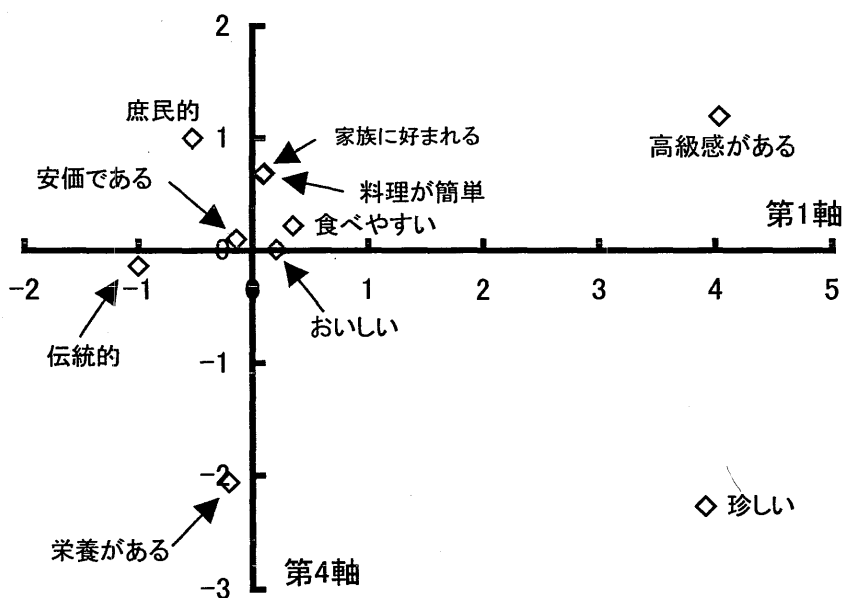


図3-7 カテゴリースコア(第1軸×第4軸)

図 3-8 は、サンプルの属性別平均を示した図であり、横軸は「現代－伝統」に関する軸、縦軸は「日常－非日常」に関する軸である。この図より、北京市では豚肉が最も「日常的」な肉であり、それ以外の肉は非日常的であるという結果を示している。この結果は、北京市において豚肉をよく食べるという回答が 87.0%（表 3-4）もあったこととよく一致した。また、北京市において牛肉は「現代的」というよりは「伝統的」なものであり、豚肉が「日常的」であるのに対して、牛肉は「非日常的」なものであることが示されている。すなわち、近年、北京市では牛肉の消費量が増加する傾向にあり、回答者の約半数が牛肉をよく食べる肉類として答えていること（表 3-4）などから、牛肉を目新しい肉類と思っていないことがうかがえる。その一方で豚肉に比べ価格が高いことなどから日常的に食べされていないことが示された。また、羊肉については他の肉よりも相対的に「現代的」であるという結果になった。これは、漢民族が羊肉を好まなかったこともあり、もともと羊肉は手に入りにくいものであったが、近年北京市では羊肉が手に入りやすくなり、羊肉料理が人気を集めているといった背景にもよると考えられる。また、この図より、武漢市では牛肉は「現代的」かつ「非日常的」なものであることがわかる。外国食文化の導入の進んだ北京市に比べれば、武漢市では牛肉はまだまだ「現代的」かつ「非日常的」なものであるのだろうと考えられる。赤峰市では羊肉が比較的「日常的」なものであるという結果であった。これは、歴史的に羊肉が人々の生活に密着しているためであると考えられる。逆に、鶏肉については北京市、武漢市が「日常的」であるのに対して、赤峰市では「非日常的」であるという結果になった。これは、表 3-4 に示したように、赤峰市では鶏肉を「よく食べる」とした割合が 23% しかいないということにより裏付けられる。いずれにしても、すべての地域で牛肉が「非日常的」であったのが特徴的であると言える。このように、現時点では、牛肉の消費は中国において一般的でないが、これは価格が高いことに起因している可能性がある。図 3-3 に示したように、GDP と牛肉生産量との間に強い相関関係があり、今後の経済発展によって、中国における牛肉消費が増大する可能性が示唆される。

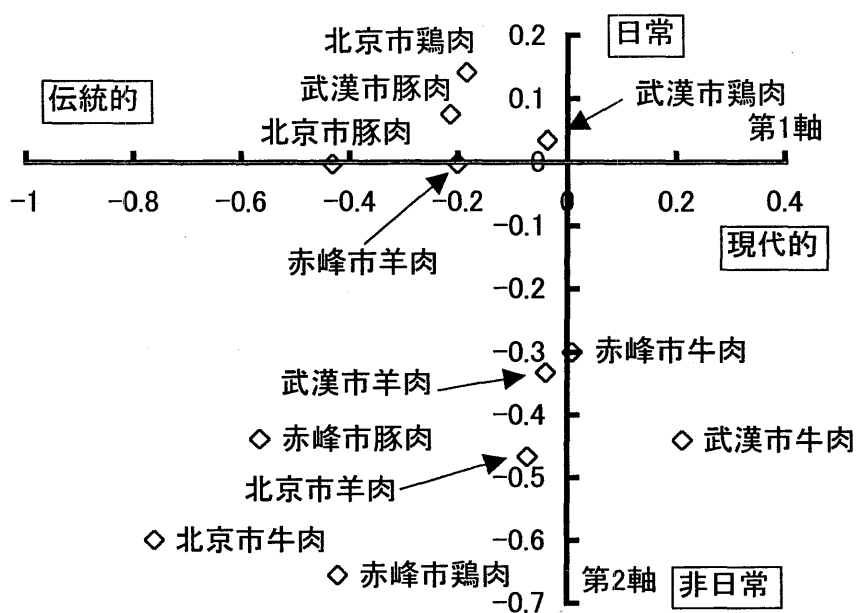


図3-8 サンプルスコア(第1軸×第2軸)

3.4 まとめ

現代中国では、急速な経済成長、外国食文化の導入、食生活の多様化にしたがって、牛肉の生産量が急速に増えている。経済成長という点に関して、本研究により牛肉の生産量とGDPは相関係数0.996という高い相関があることが示された。アンケート調査の結果、多くの回答者が牛肉を食べる量を今後増やしたいと答えていることから、中国における牛肉の需要は増加を続けるものと思われる。しかし一方で、比較的高価な牛肉は、北京市、武漢市、赤峰市のすべての地域で今もなお非日常的であると認識されていることが示された。

統計資料調査とアンケート調査の結果、肉類の生産量や人々の嗜好は地域によって異なっていることが示された。これは、地域の生活、風土、文化、歴史の違いを反映していると考えられる。北京市では中華料理で多用される豚肉が最も一般的であったが、近年牛肉、羊肉の生産が急激に増加していた。また、北京市は中国の首都であり、外国人も多いため、外国食文化の導入が最も進んでいた。武漢市は、北京市に次いで外国食文化の導入が進んでいた

が、牛肉に対する嗜好や食べる頻度が比較的低いという結果になった。赤峰市は北方遊牧民族を起源に持つため、従来から羊肉や牛肉の生産が行われていた。内陸に位置していることもあり、北京市、武漢市と違って、魚よりも肉の方が好まれていることも示された。

霜降牛肉に対しては、北京市、武漢市、赤峰市すべての地域で「食べたくない」とした回答が「食べたい」とした回答をやや上回った。「食べたくない」理由を尋ねた結果、すべての地域で「価格が高い」という回答が多かったが、北京市では「健康に悪い」からという回答がわずかの差で最も多かった。これは、北京市では食品の安全性や健康に留意するという先進国の考え方がある程度広まっているためであると考えられる。この調査は霜降牛肉に対する情報を与える形で行ったが、実際には霜降牛肉のような高級牛肉がまだほとんど認識されていなかった。

牛肉の生産量と GDP には高い相関がみられたが、高い経済成長が見込まれる中国では、今後も牛肉消費量の増加が継続するものと考えられる。中国における一人当たりの肉類消費量は、すでに日本と同等の水準にある³⁶⁾が、本論では地域差こそあれ消費者の牛肉に対する要求量が今後増大する傾向が示された。巨大な人口を抱える中国の牛肉消費が今後も増え続ければ、世界の穀物需給に及ぼす影響も非常に大きなものになるため、中国の自然条件および社会条件に適した肉牛生産システムが必要である。

第4章 エネルギー消費モデルによる肉牛生産システムの評価

4.1 はじめに

産業革命以来、人類は工業や科学技術を発展させ、エネルギー消費の拡大を続けながら成長を遂げてきたが、それに伴う急激な人口増加が穀物や食肉の大量生産を要求するものとなった。かつては自然の力を利用して営まれてきた農業分野においても、化学肥料、農薬、動力機械、鋼鉄やビニールなどの資材により、効率的な大量生産が可能になった。このように近代農業は石油、石炭などによる補助エネルギーの大量消費により支えられている。しかし今日では、エネルギー大量消費型経済の進展にともなって、エネルギー源の枯渇や地球温暖化などの環境問題が憂慮されており、補助エネルギーに依存している近代農業のあり方を見直す必要があると思われる。

エネルギーのうち、太陽エネルギー、風力エネルギーなどの自然エネルギーは無尽蔵であるが、一方、石油、石炭などの化石燃料エネルギー（補助エネルギー）は有限である。しかも、補助エネルギーの利用効率は、近代農業の方が過去の収量が低かった時代よりも低くなっている³⁷⁾ことが指摘されている。さらに、環境に与える影響という点でも、自然エネルギーと化石燃料エネルギーでは大きく異なっている。そのため、生産過程におけるエネルギー消費を、エネルギー源の性質を考えた上で定量的に評価することが、エネルギーの有効な利用及び省エネルギー生産にとって重要である。エントロピーの観点から見ると、補助エネルギーの消費は化石エネルギー源を枯渇させ、最終的には熱の増大となりエントロピーを増大させる。一方、太陽エネルギーは、水の相変化、大気の運動などの複雑な自然の動きを生じさせ、それによって地球のエントロピーは減少する。緑色植物は、光合成により太陽エネルギーを利用してエントロピー増加を遅らせる³⁸⁾。したがって、太陽エネルギーを多く利用して補助エネルギーに対する依存率が低い生産方式がエントロピーの観点から望ましいと言える。

近年、肉牛肥育の分野でも、生産性の向上と肉質を重視する市場の要求から、飼養規模の拡大、濃厚飼料多給型の集約的肥育が進んでいる。高品質な

牛肉を生産するためには、エネルギー含量の高い濃厚飼料の給与が必要であるが、エネルギー消費の観点から持続的な牛肉生産を目指すためには、再生不可能な補助エネルギーの消費抑制、太陽エネルギーの利用率向上を図りながら、市場の要求を満たす効率的な肉牛生産を考えなければならない。本研究では、まず肉牛生産における補助エネルギー消費量、太陽エネルギー利用量、およびエネルギー産出量を計算した。さらに、それらに基づいて、補助エネルギー効率、補助エネルギー依存率を計算し、肉牛生産システムの評価と比較を行った。

4.2 方法

4.2.1 肉牛生産モデルの概要

肉牛生産において消費されるエネルギーは、濃厚飼料生産、粗飼料生産、畜舎運営のために消費される補助エネルギーと自家生産の粗飼料に固定される太陽エネルギーに大きく分けられる。本研究では、補助エネルギー消費量、太陽エネルギー利用量、およびエネルギー産出量を計算する肉牛生産モデルとして、「肉牛肥育単独システム」、「肉牛放牧システム」、「肉牛肥育・稲作複合システム」、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」を提示した。図4-1は、「肉牛肥育単独システム」における物質・エネルギー循環をモデル化した模式図である。このモデルは、肉牛肥育だけの1部門で構成されている。粗飼料としてのイナワラ及び濃厚飼料（配合飼料）はすべて外部から購入し、生産物（牛肉）及び排出物（糞尿など）は全部外部に放出するものとする。図4-2は「肉牛放牧システム」のモデルを示した模式図である。このモデルは肉牛肥育と放牧地で構成され、放牧地の牧草・野草は牛の飼料となり、牛の糞尿の一部は放牧地の肥料となる。このモデルでは、単純化のため放牧地における周年放牧としているが、現実的には冬期の積雪、草量確保などが課題となる。飼料はすべて放牧地から供給されるものとして、外部から購入しないものと仮定した。図4-3は、「肉牛肥育・稲作複合システム」における物質・エネルギー循環をモデル化した模式図である。このモデルは、

広岡⁵⁾が環境－経済モデルを開発し、窒素還元率や生産費に関するシミュレーションを行ったモデルと同様、稲作と肉牛肥育の複合生産を行っている。粗飼料（イナワラ）はできるだけ自家生産するものとし、不足する分だけを外部から購入する。濃厚飼料はすべて外部から購入すると仮定した。図 4-4 は、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」における物質・エネルギー循環をモデル化した模式図である。このモデルは、肉牛肥育と飼料生産の 2 部門から構成される。濃厚飼料はすべて外部から購入するが、粗飼料（牧草）はできるだけ自家生産のものを使用し、不足する分だけを外部から購入すると仮定した。

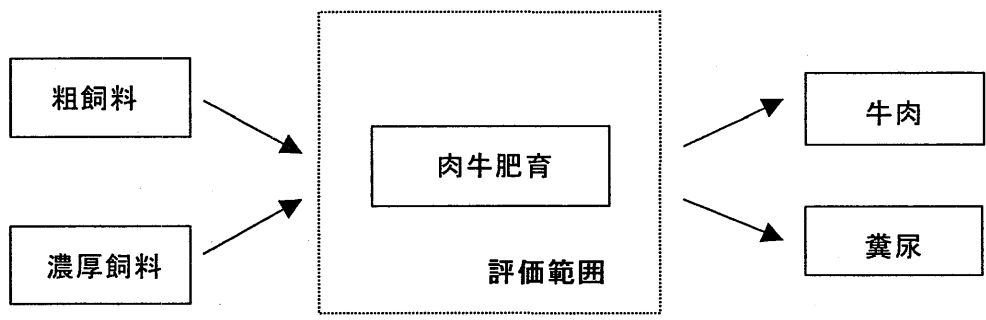


図 4-1 肉牛肥育単独システム

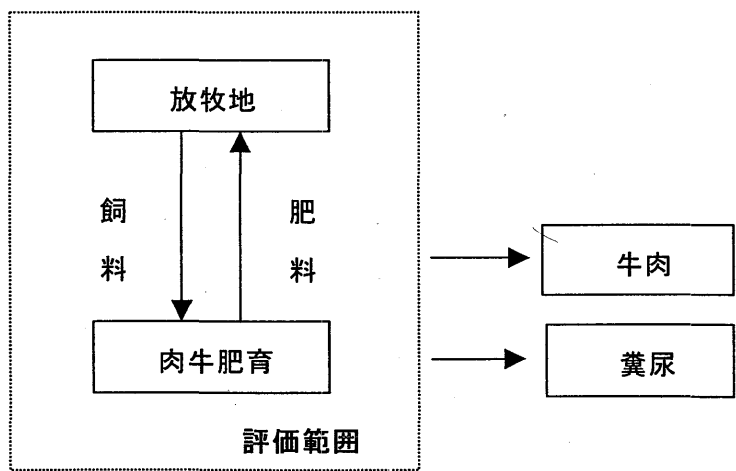


図 4-2 肉牛放牧システム

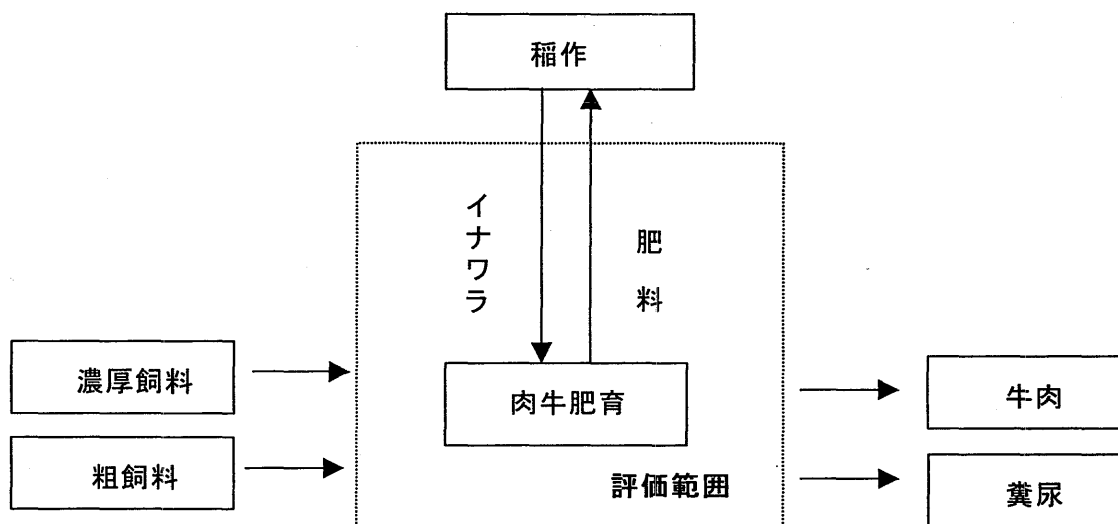


図 4-3 肉牛肥育・稲作複合システム

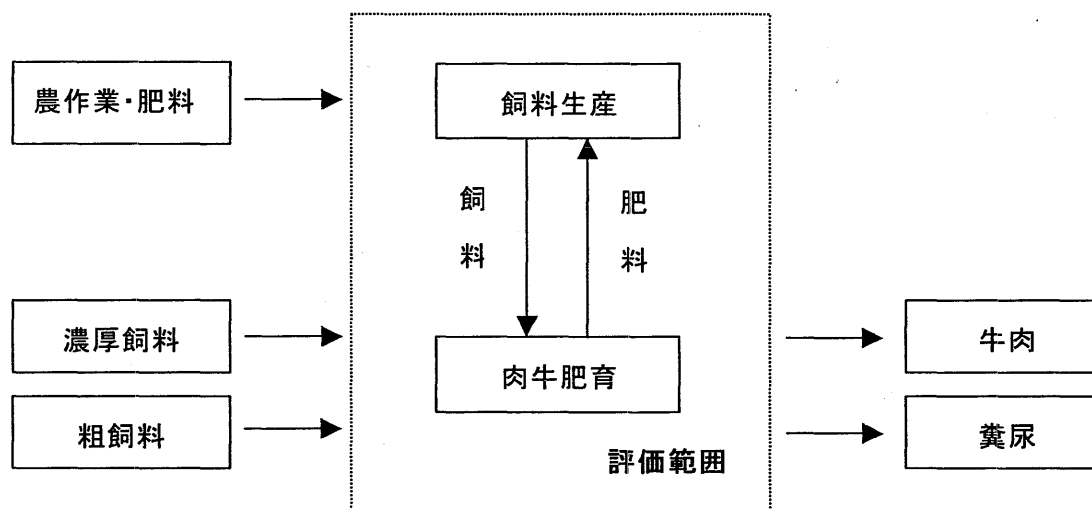


図 4-4 肉牛肥育・飼料生産複合システム

4.2.2 飼料要求量の計算

各肉牛生産システムの飼料要求量は、日本飼養標準³⁹⁾にしたがって以下のように計算した。肥育開始体重を W_s (kg)、肥育日数を N (日)、一日当たりの増体量を DG (kg/日) とすると、第 i 日目の体重 W_i (kg) は、

$$W_i = W_s + DG \times i \quad (4-1)$$

となる。したがって、肥育終了時体重 W_E (kg) は、

$$W_E = W_s + DG \times N \quad (4-2)$$

である。総代謝エネルギー要求量 ME (Mcal/頭/年) は、肥育期間における第 i 日目の代謝エネルギー要求量 ME_i (Mcal/頭/日) の和となる。つまり、

$$ME = \sum_{i=1}^N ME_i \quad (4-3)$$

である。 ME_i は、維持に要する代謝エネルギー量 MEM_i (Mcal/頭/日) と増体に要する代謝エネルギー量 MEG_i (Mcal/頭/日) の和であるから、

$$ME_i = MEM_i + MEG_i \quad (4-4)$$

と表される。 MEM_i と MEG_i は、それぞれ式(4-5)、(4-6)によって表される。

$$MEM_i = 0.0998 \times W_i^{0.75} \quad (4-5)$$

$$MEG_i = NEG_i / kf \quad (4-6)$$

ここで、 NEG_i (Mcal/頭/日) は第 i 日目の成長における正味エネルギー要求量であり、式(4-7)により求める。

$$NEG_i = 0.0672 \times W_i^{0.75} \times DG \quad (4-7)$$

また、式(4-6)における kf は成長における代謝エネルギーの利用効率であり、飼料エネルギーの代謝率である q を用いて、式(4-8)、(4-9)により求められる。

$$kf = 0.78 \times q + 0.006 \quad (4-8)$$

$$q = 0.4213 + 0.1491 \times DG \quad (4-9)$$

ところで、放牧の場合、舎飼い時に比べて採食や歩行等に伴うエネルギー消費量が増加するため、代謝エネルギーの維持要求量以下の式で求められる。そこで放牧時の MEM_i を式(4-10)により計算した。

$$MEM_i = 0.0998 \times W_i^{0.75} \times 1.3 \quad (4-10)$$

さらに、1頭当たりの濃厚飼料、粗飼料それぞれの給与量(kg/頭/年)を X 、 Y 、飼料の全給与量に対する粗飼料の割合を p とすると、

$$ME/3.62 = TDNC \times X + TDNR \times Y \quad (4-11)$$

$$pX = (1 - p)Y \quad (4-12)$$

ここで、 $TDNC$ は濃厚飼料の可消化養分総量(TDN)含量率、 $TDNR$ は粗飼料のTDN含量率であり、表4-1より決定した。また、TDN1kgは、3.62(Mcal)と変換した。式(4-11)、(4-12)より、 p が決まれば X 、 Y を決定することができる。

表 4-1 飼料中の TDN 含有率

	TDN(%)
濃厚飼料	72.0
牧草	48.6
イナワラ	37.6

注：文献⁵⁾より作成。

4.2.3 エネルギー消費量・産出量の計算

4.2.3.1 肉牛肥育単独システム

「肉牛肥育単独システム」における補助エネルギー消費量 E_{in} (kcal/年) は、式(4-13)によって計算した。

$$E_{in} = E_C + E_R + E_S \quad (4-13)$$

ここで、 E_C 、 E_R 、 E_S は、それぞれ購入した濃厚飼料生産、購入した粗飼料（イナワラ）生産、畜舎運営の補助エネルギー消費量 (kcal/頭/年) であり、式(4-14)、(4-15)、(4-16)により求められる。

$$E_C = 2943 \times X \quad (4-14)$$

$$E_R = 825 \times Y \quad (4-15)$$

$$E_S = 96725 \times HEAD \quad (4-16)$$

式(4-14)および(4-15)の係数には、資料¹⁴⁾の数値を用いた。式(4-16)の係数は、畜舎運営に1日当たり265(kcal/日/頭)を必要とする⁴⁰⁾ことに基づいて算出した。 $HEAD$ は頭数である。

太陽エネルギー利用量 E_{sun} (kcal/頭/年) は、「肉牛肥育単独システム」の場合、直接太陽エネルギーを利用しないため0とした。

エネルギー産出量 E_{out} (kcal/年) は下の式で求められる。

$$E_{out} = P_{beef} \times E_{beef} \quad (4-17)$$

ここで、 E_{beef} は牛肉の熱量価で3000(kcal/kg)とした⁴¹⁾。 P_{beef} は牛肉の生産量(kg/年)であり、以下の式で求めた。

$$P_{beef} = DG \times N \times 0.71 \times HEAD \quad (4-18)$$

式(4-18)において、肉牛可食部の増体量に対する重量比率を0.71とした⁴¹⁾。

4.2.3.2 肉牛放牧システム

「肉牛放牧システム」では、補助エネルギーの消費量は小さいと考えられるため、補助エネルギー消費量を 0 (kcal/ha/年) として計算した。

太陽エネルギー利用量 E_{sun} (kcal/ha/年) は、式(4-19)によって計算した。

$$E_{sun} = u \times v \tag{4-19}$$

ここで、 u は全太陽エネルギー量 (kcal/ha/年)、 v は野草の太陽エネルギー利用率であり、表 4-2 の数値を使用した。なお、本研究では、牛による採食率 R_1 を 0.5、消化率 R_2 を 0.5、代謝エネルギーへの変換率 R_3 を 0.65 と設定して、式(4-20)により、牛が利用可能な太陽エネルギー量 E_{pos} (kcal/ha/年) を計算した。

$$E_{pos} = E_{sun} \times R_1 \times R_2 \times R_3 \tag{4-20}$$

この E_{pos} を、放牧飼養における総代謝エネルギー要求量 ME で除することにより、生産可能頭数 (頭/ha) を求めた。

表 4-2 太陽エネルギーの利用効率

	野草生産	牧草生産	イナワラ生産
全太陽エネルギー量 (kcal/m ² /年)	1050000	1050000	1050000
太陽エネルギー利用率	0.006	0.008	0.0018
生産力 (g/m ² /年)	1500	2000	550

注：文献⁵⁾¹³⁾を参考に作成。

4.2.3.3 肉牛肥育・稲作複合システム

補助エネルギー消費量 E_{in} (kcal/年) は、式(4-21)によって計算した。モデルの単純化のため、自家生産する粗飼料のイナワラは農業副産物であることから、自家生産に要する補助エネルギー消費量を 0 とした。

$$E_{in} = E_C + E_R + E_S \quad (4-21)$$

ここで、 E_C 、 E_R 、 E_S は、それぞれ購入した濃厚飼料生産、購入した粗飼料（イナワラ）生産、畜舎運営の補助エネルギー消費量 (kcal/頭/年) であり、式(4-14)、(4-15)、(4-16)により計算した。

太陽エネルギー利用量 E_{sun} (kcal/ha/年) は、式(4-19)の v をイナワラの太陽エネルギー利用率として、表 4-2 の数値を使用して計算した。自家生産するイナワラの生産量は 5,500 (kg/ha/年) とした⁵⁾。

エネルギー産出量 E_{out} (kcal/年) は、式(4-17)、(4-18)により計算した。

4.2.3.4 肉牛肥育・飼料生産複合システム

補助エネルギー消費量 E_{in} (kcal/年) は、式(4-22)によって計算した。

$$E_{in} = E_C + E_R + E_S + E_P + E_F \quad (4-22)$$

ここで、 E_C 、 E_R 、 E_S 、 E_P 、 E_F は、それぞれ購入した濃厚飼料生産、購入した粗飼料（牧草）生産、畜舎運営、粗飼料（牧草）の自家生産、化学肥料の補助エネルギー消費量 (kcal/年) であり、それぞれ式(4-14)、(4-23)、(4-16)、(4-24)、(4-25)により計算した。

$$E_R = 275 \times Y \quad (4-23)$$

$$E_P = 558440 \times AREA \quad (4-24)$$

$$E_F = 8750 \times IN \quad (4-25)$$

式(4-23)では、購入した粗飼料（牧草）生産の補助エネルギー量を 275 (kcal/kg) とした¹⁴⁾。式(4-24)では、粗飼料（牧草）の自家生産に要する補助エネルギー消費量を、軽油消費量から 558,440(kcal/ha/年)とした⁴⁰⁾。AREA は粗飼料の生産面積である。式(4-25)において、IN は化学肥料の使用量 (kg/年) であり、化学肥料（高度化成肥料）の補助エネルギー量を 8,750 (kcal/kg) とした¹⁴⁾。草地・飼料畑の牛糞尿施用基準⁴²⁾によって、牛の糞尿は施用可能な量を水田に還元し、不足する場合には外部から化学肥料を追加する。逆に、余剰の糞尿が生じた場合には、外部に排出するものと仮定した。

太陽エネルギー利用量 E_{sun} (kcal/ha/年) は、式(4-19)を用いて計算した。自家生産する牧草の生産力は 20,000 (kg/ha/年) とした¹³⁾。

エネルギー産出量 E_{out} (kcal/年) は、式(4-17)、(4-18)により計算した。

4.2.4 エネルギー効率・依存率

補助エネルギー効率 E 、補助エネルギー依存率 D をそれぞれ式(4-26)、(4-27)で定義した。

$$E = \frac{\text{エネルギー産出量}}{\text{補助エネルギー消費量}} \quad (4-26)$$

$$D = \frac{\text{補助エネルギー消費量}}{\text{補助エネルギー消費量} + \text{太陽エネルギー利用量}} \quad (4-27)$$

補助エネルギー効率は、単位補助エネルギー消費量当たりのエネルギー産出量であり、エネルギーの産出効率を示している。また、補助エネルギー依存率は、総エネルギー消費量に対する補助エネルギー消費量の割合であり、

補助エネルギーへの依存度を示している。さらに、「肉牛放牧システム」では、太陽エネルギー効率 F を式(4-28)により計算した。

$$F = \frac{\text{エネルギー産出量}}{\text{太陽エネルギー利用量}} \quad (4-28)$$

4.2.5 シミュレーション条件

本研究では、前提条件として W_s を 280 (kg)、 N を 365 (日)、 DG を 0.6 (kg/日) と設定した。この場合、式(4-1)～(4-10)より、終了時体重 W_E (kg) は 499.0 (kg)、総代謝エネルギー要求量 ME は、舎飼い肥育では 6,364.85 (Mcal/頭/年)、放牧飼養では 7,320.04 (Mcal/頭/年) となった。このような条件に基づいて、飼養密度、粗飼料の割合を外生変数としてシミュレーションを行った。

4.3 結果

4.3.1 肉牛肥育単独システム

図 4-5 は、「肉牛肥育単独システム」における粗飼料の割合に対する補助エネルギー効率の変化を示している。この図では、粗飼料の割合が 0 から 1 まで増加すると、補助エネルギー効率も 0.06 から 0.12 まで上昇することが示されている。これは、粗飼料の割合が増加すると、補助エネルギー消費量が減少することによるものである。補助エネルギー依存率は、設定条件により粗飼料の割合に関係なく 1 である。

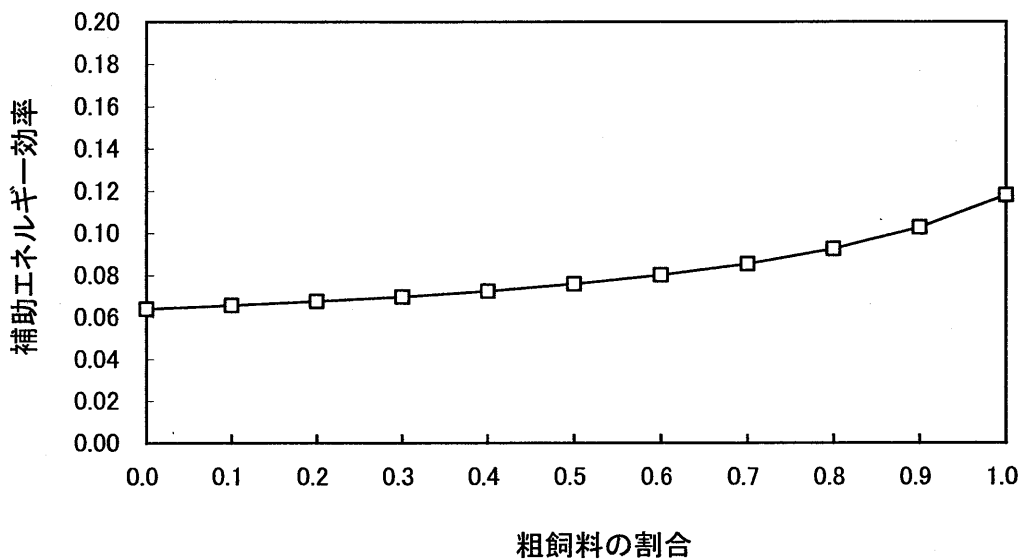


図4-5 肉牛肥育単独システムにおける粗飼料割合と補助エネルギー効率との関係

4.3.2 肉牛放牧システム

「肉牛放牧システム」において、牛が利用可能な太陽エネルギー量は、計算により 10,237,500(kcal/ha/年)となった。放牧飼養における総代謝エネルギー要求量は 7,320.04(Mcal/頭/年)であるから、生産可能頭数は 1.40(頭/ha)となる。「肉牛放牧システム」の太陽エネルギー効率を計算すると、0.010であった。また、設定条件から「肉牛放牧システム」の補助エネルギー依存率は 0 となった。

4.3.3 稲作複合および飼料生産複合システム

図 4-6 は、飼養密度を 10(頭/ha)に固定して、「肉牛肥育・稲作複合システム」と「肉牛肥育・飼料生産複合システム」について、粗飼料の割合と補助エネルギー効率の関係を示した図である。この図から、どちらのシステムでも粗飼料の割合が増加するほど補助エネルギー効率が上昇することがわかる。また、粗飼料の割合が 0.6 程度までは、どちらのシステムでも補助エネルギー効率はほとんど等しいが、粗飼料の割合がそれよりも大きくなると「肉牛肥育・飼料生産複合システム」の補助エネルギー効率が急激に上昇する。これは、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では、粗飼料の購入量が比較的緩やかに増加するため、補助エネルギー消費量が低く抑えられることによるものである。

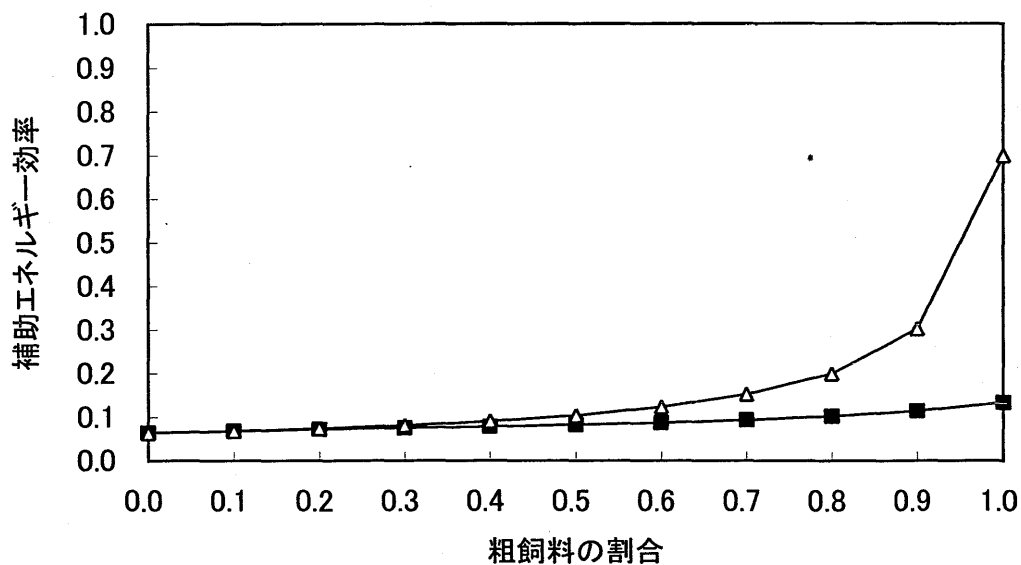


図4-6 粗飼料割合とエネルギー効率との関係

- 肉牛肥育・稲作複合システム
- △ 肉牛肥育・飼料生産複合システム

図 4-7 は、同様に飼養密度を 10(頭/ha)に固定して、「肉牛肥育・稲作複合システム」と「肉牛肥育・飼料生産複合システム」について、粗飼料の割合と補助エネルギー依存率の関係を示した図である。この図から、どちらのシステムでも粗飼料の割合が増加するほど補助エネルギー依存率が低下することがわかる。補助エネルギー依存率は、粗飼料の割合が 0.2 程度までは、どちらのシステムでもほぼ等しいが、粗飼料の割合がそれよりも大きくなると「肉牛肥育・稲作複合システム」における補助エネルギー依存率の低下が緩やかになる。これは、「肉牛肥育・稲作複合システム」では、単位面積当たりのイナワラ生産量が少ないことによるものである。

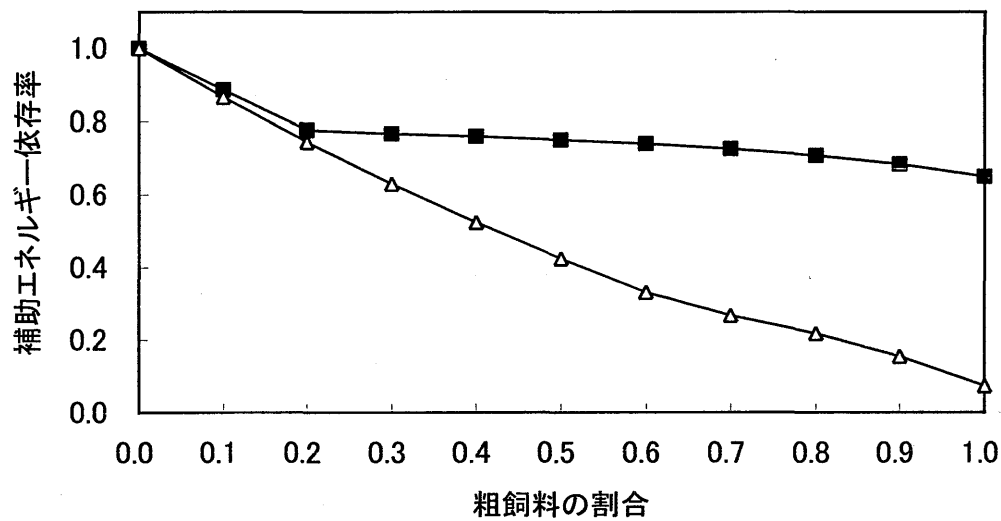


図4-7 粗飼料割合とエネルギー依存率の関係

- 肉牛肥育・稲作複合システム
- △ 肉牛肥育・飼料生産複合システム

図4-8は、粗飼料の割合を0.3に固定して、「肉牛肥育・稲作複合システム」と「肉牛肥育・飼料生産複合システム」について、飼養密度と補助エネルギー効率の関係を示した図である。この図から、「肉牛肥育・稲作複合システム」では、飼養密度が6(頭/ha)以下のとき、補助エネルギー効率が比較的高くなる。また、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では、補助エネルギー効率の観点から飼養密度を3(頭/ha)以上とする必要がある。「肉牛肥育・飼料生産複合システム」において、飼養密度が1~2(頭/ha)のとき、補助エネルギー効率が低いのは、補助エネルギー消費量に対するエネルギー産出量が著しく低くなるためである。

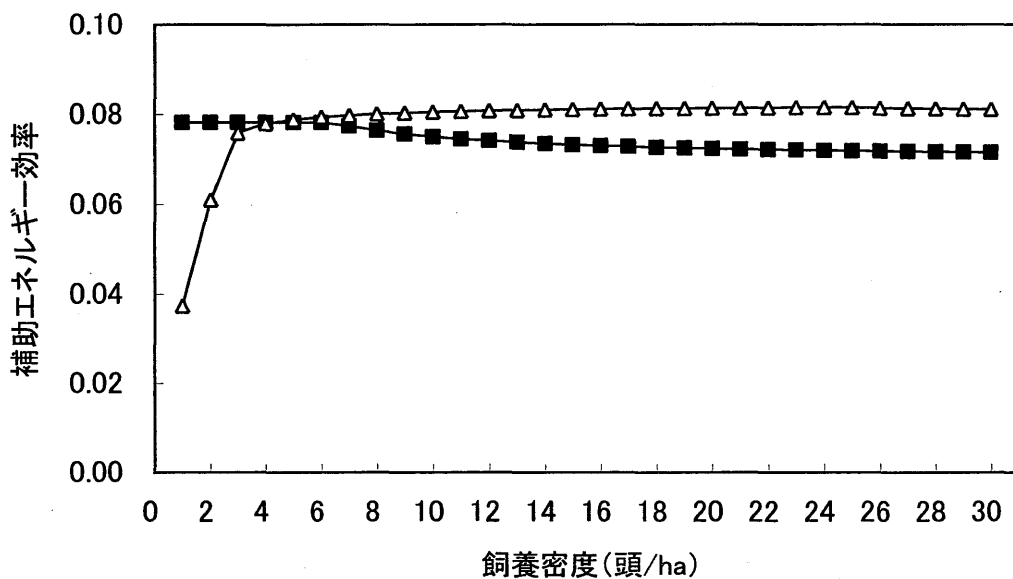


図4-8 飼養密度と補助エネルギー効率の関係

- 肉牛肥育・稲作複合システム
- △— 肉牛肥育・飼料生産複合システム

図4-9は、粗飼料の割合を0.3に固定して、「肉牛肥育・稲作複合システム」と「肉牛肥育・飼料生産複合システム」について、飼養密度と補助エネルギー依存率の関係を示したものである。「肉牛肥育・稲作複合システム」では、飼養密度が6(頭/ha)以下のとき、補助エネルギー依存率が低くなる。また、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では、飼養密度が1~2(頭/ha)のとき補助エネルギー依存率が高く、飼養密度を3(頭/ha)以上とすることが望ましい。

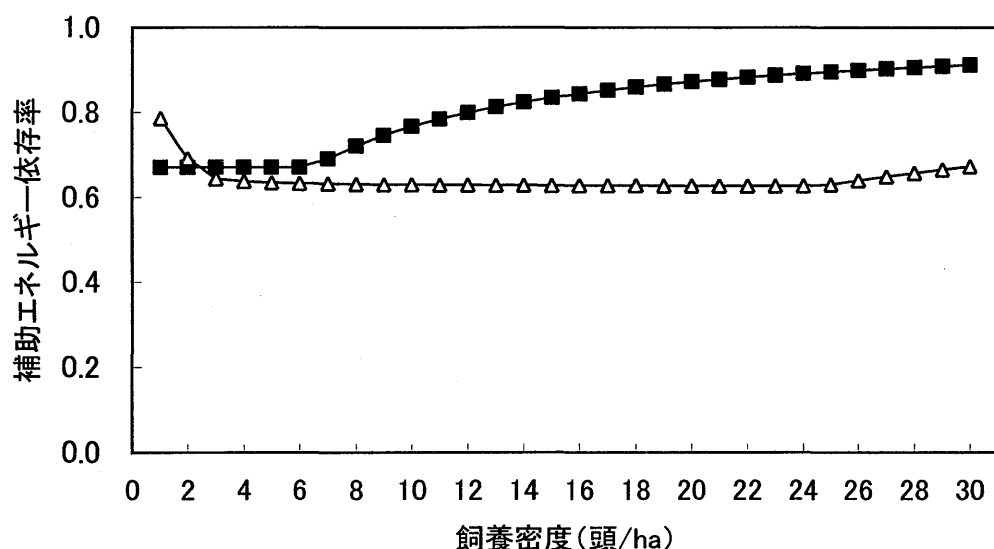


図4-9 飼養密度と補助エネルギー依存率の関係

—■— 肉牛肥育・稲作複合システム
 —△— 肉牛肥育・飼料生産複合システム

以上のことから、補助エネルギー効率が最も低いのは、「肉牛肥育単独システム」であることがわかった。補助エネルギー依存率は、設定条件から「肉牛肥育単独システム」では1、「肉牛放牧システム」では0とした。「肉牛肥育・稲作複合システム」と「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では、粗飼料の割合が大きいほど、補助エネルギー依存率が低くなった。また、これらの指標から総合的に望ましい肥育頭数規模を考えると、粗飼料の割合が0.3の場合、「肉牛肥育・稲作複合システム」では6(頭/ha)以下、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では3(頭/ha)以上であると考えられる。飼料を自家生産だけに頼る「肉牛放牧システム」では1.40(頭/ha)が限界であった。

4.4 エントロピー評価法の提案

化石燃料の消費に伴う問題の重要性は、熱力学第2法則（エントロピー法則）から明らかとなる。その概念によると、エントロピーの観点から見ると、補助エネルギーの消費は化石エネルギー源を枯渇させ、最終的には熱の増大となりエントロピーを増大させる。一方、太陽エネルギーは、水の相変化、大気の運動などの複雑な自然の動きを生じさせ、それによって地球のエントロピーは減少する。緑色植物は、光合成により太陽エネルギーを利用してエントロピー増加を遅らせる。すなわち、補助エネルギーの利用はエントロピーを増加させるが、植物を通した太陽エネルギーの利用はエントロピー増加を遅らせる^{38) 44)}。したがって、太陽エネルギーを多く利用して補助エネルギーに対する依存率が低い生産方式がエントロピーの観点から望ましいと言える。そこで、本文に基づき、さらに、エントロピー概念を用いた肉牛生産におけるエネルギー消費を評価する方法を提案し、肉牛生産システムの評価と比較を行った。

エントロピー増加量 ΔS を以下の式のように定義した。

$$\Delta S = \frac{\text{補助エネルギー消費量} - \text{太陽エネルギー利用量}}{\text{絶対温度} \times \text{生産量}} \quad (4-29)$$

ここで、絶対温度は環境温度である 293(K)、生産量は牛肉の生産量(kg/年)と設定した。生産量が一定であれば、補助エネルギーの消費量が多く、太陽エネルギーの利用量が少なければエントロピー増加量が大きくなる。一方、補助エネルギーの消費量が少なく、太陽エネルギーの利用量が多ければエントロピー増加量が小さくなる。資源・エネルギーの観点から考えると、単位生産当たりの再生可能な太陽エネルギー利用量が最大、かつ再生不可能な化石エネルギー消費量が最小な生産は環境に優しいと言える。つまり、単位生産当たりのエントロピー増加量が小さければ、資源・エネルギーの観点から環境に優しい生産となりうる。

式(4-29)により計算した結果、「肉牛肥育単独システム」におけるエント

ロピー増加量は 60.79~111.72(kcal/K/kg)であった。「肉牛放牧システム」において、エントロピー増加量は-689.26(kcal/K/kg)であった。「肉牛飼養・飼料生産複合システム」と「肉牛飼養・稲作複合システム」のエントロピー増加量は、「肉牛肥育単独システム」と「肉牛放牧システム」の間であり、粗飼料の割合が大きいほどエントロピー増加量が低下した。エントロピー増加量の観点からみても、粗飼料の割合が 0.3 の場合の最適飼養密度は、「肉牛肥育・稲作複合システム」では 6(頭/ha)以下、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では 3(頭/ha)以上となった。飼料を自家生産だけに頼る「肉牛放牧システム」では 1.40(頭/ha)が限界であった。この結果は、エントロピー評価法を用いない場合と全く同じであった。したがって、ここで提案したエントロピー評価法もまた、エネルギー分析の指標として利用できるものと考えられる。

4.5 考察

本研究の結果、「肉牛肥育・稲作複合システム」、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では、粗飼料の割合や飼養密度に応じて、補助エネルギー効率、補助エネルギー依存率ともに大きく変化することが示された。また、「肉牛肥育単独システム」、「肉牛肥育・稲作複合システム」、「肉牛肥育・飼料生産複合システム」の補助エネルギー効率は、「肉牛放牧システム」の太陽エネルギー効率よりもはるかに高いことが示された。「肉牛放牧システム」では飼養密度 1.40(頭/ha)が限界であり、広大な放牧地の確保が課題になる。しかし、補助エネルギーに依存せず、太陽エネルギーを最も多く利用する「肉牛放牧システム」が、近代的な効率主義、大量生産の観点から肉牛が生産される昨今、エネルギー消費の観点からも見直されるべきではないかと思われる。

日本では、中山間地域のような条件不利地域において、耕作が放棄され荒廃した棚田や遊休農地が近年問題となっている。維持管理が困難になっているこのような遊休農地を、栄養生産力が高く、土壌侵食防止にも効果のあるシバ型草地に転換させ、肉用牛を放牧することによる「日本型放牧」が提案

されている⁴³⁾。一般に、遊休農地は面積が狭小で斜面に多いが、シバ型草地はこのような土地にも定着しやすく、土壌を保持し、放牧の踏圧にも耐える上、家畜の落とす糞尿により施肥も不要である⁴³⁾。このような放牧による肉牛生産には、畜舎型の肉牛生産と違って、補助エネルギー消費量が少なく、エントロピーをむやみに増大させないため、環境保全、社会の持続的発展の観点からも適切であり、農村社会の維持に果たす役割も大きいものと考えられる。

第5章 環境保全型肉牛肥育・稲作複合システムの構築

5.1 はじめに

近年、土づくりの減退、化学肥料や農薬への過度の依存による農地の生産力低下、営農環境の悪化といった状況がみられ、また、化学肥料や農薬の使用を控えた農産物等に対する消費者のニーズが高まっている。このような状況に対し、堆肥等の活用によって農地の生産力維持のための土づくりを行うとともに、化学肥料や化学合成農薬の低減を促進することが重要課題となっている。一方、畜産経営においても、都市化の進展や飼養規模の拡大、環境意識の高まりを背景にして、悪臭、水質汚濁といった家畜糞尿に起因する環境問題が顕在化している。本来の農業は、太陽エネルギー、水、空気等の無機物を取り込んで、自らを再生産する自然の循環過程のなかで存在するものであるが、不適切な農業生産活動は、過度の環境負荷を与えると同時に、農業の再生産や循環過程を阻害する場合もある。したがって、持続的な農業生産を行うためには、農業の再生産と循環過程を十分に機能させながら、環境負荷の低減を図っていかなければならない。

戦前の日本では、イナワラなどの農業副産物や野草を飼料基盤とする副業としての小規模肉牛飼養が多く存在したが、戦後の高度経済成長に伴って肉牛生産・稲作生産の双方が専門化し、肉牛生産は土地離脱傾向を強め企業経営の形態に変化していった。さらに、1991年度の牛肉輸入自由化と円高の進展を背景にして、低価格の輸入牛肉との競争のため、濃厚飼料の多給により集約化された肥育経営が進んでいる。図 5-1 は、統計資料⁴⁵⁾より作成した肥育経営（去勢若齢）における濃厚飼料給与割合（TDN 換算）を示している。この図によると、1965 年には濃厚飼料給与割合は 50(%)であったが、1975 年には 78(%)、1985 年には 81(%)となり、さらに 1995 年には 88(%)に達している。

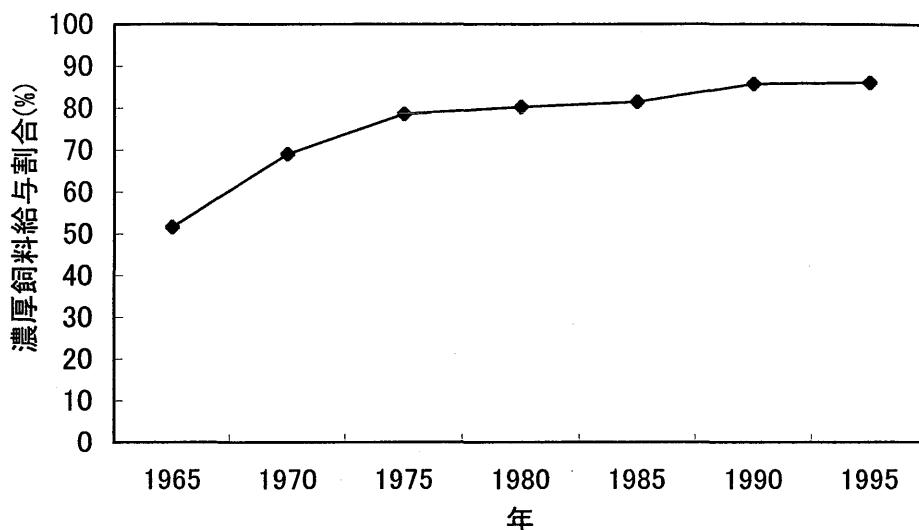


図5-1 肥育経営(去勢若齢)における濃厚飼料給与割合(TDN換算)

また、図 5-2 は、統計資料⁴⁵⁾より作成した肥育経営(去勢若齢)における飼料自給率(TDN換算)を示している。この図によると、飼料自給率は1965年には55(%)であったが、1975年には15(%)、1985年には13(%)となり、さらに1995年には5(%)にまで低下した。

このように日本の肉牛生産は濃厚飼料給与によって成立し、その飼料の大部分は輸入に依存しているという特異な形態を呈している。

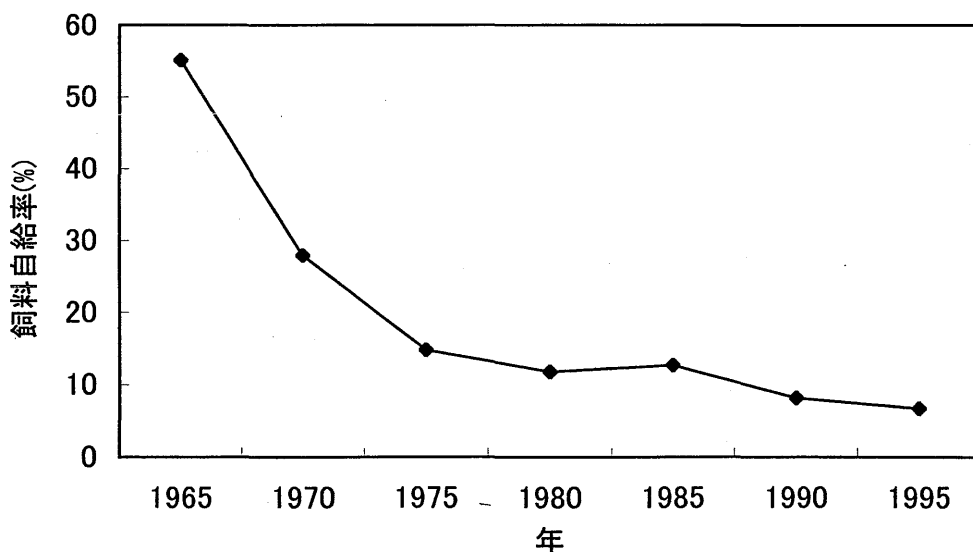


図5-2 肥育経営(去勢若齢)における飼料自給率(TDN換算)

一方、統計資料⁴⁵⁾より作成した国産イナワラの用途を示したグラフが図5-3であるが、この図からイナワラが畜産に利用される割合は飼料と敷料をあわせても18(%)しかないことがわかる。その理由としては、稲作農家においてコンバインの普及、兼業化、担い手の高齢化が進む一方で、畜産農家においても多頭化、担い手の高齢化、収集・梱包機械の確保、収穫時期の集中化、貯蔵などの問題により飼料を購入する方が経済的に有利となることがあげられる。

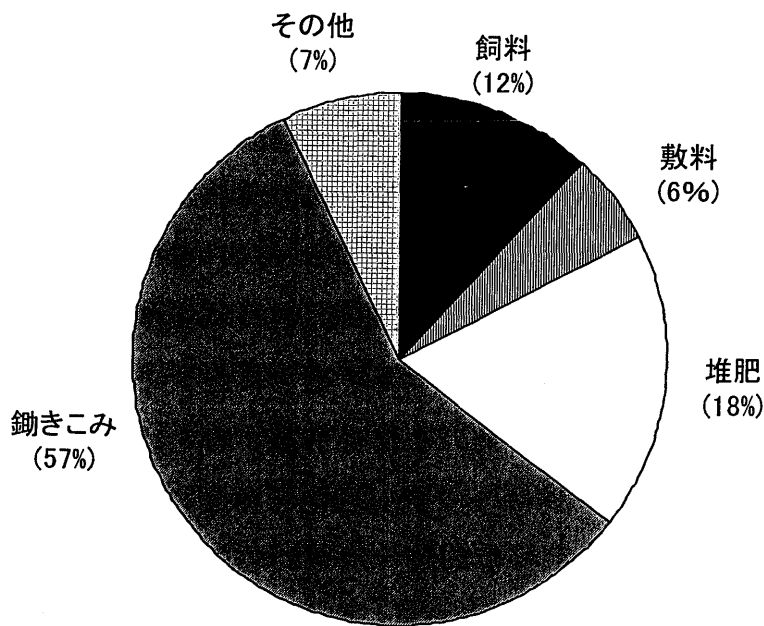


図5-3 国産イナワラの用途

さらに日本は、海外から大量の食料・飼料の輸入をしながら、国内のコメ消費量減少と国際貿易事情によるコメ輸入によって減反を余儀なくされている。1998年の生産調整面積96万(ha)あり、そのうちの50~60万(ha)は麦・大豆・飼料作物・野菜など転作されたが、何も作付けされていない面積は約40万(ha)にもなる⁴⁶⁾。それにより、畜産用の粗飼料不足を輸入で補う一方で、生産調整や耕作放棄による遊休農地が発生しているというのが実態である。

食料・環境問題が深刻化する今日、各国あるいは各地域において地域資源の有効利用を考えることは必要であり、耕畜連携による資源循環型農畜産業の実現は問題解決のための重要な鍵になると考えられる。そこで本研究では、システム・ダイナミックス法を用いて、第4章でも検討を行った肉牛肥育・稲作複合システムにおける窒素循環モデルを構築し、耕畜連携の観点から、農業副産物であるイナワラの有効利用、有機物質の土壌還元、放棄された水田の飼料稲生産地への転換、飼養規模調節といったシナリオ下で、肉牛生産による環境負荷の時系列変化を予測した。

5.2 分析方法

5.2.1 システム・ダイナミックス⁴⁷⁾

システム・ダイナミックス (SD) とは、1961 年に MIT (マサチューセッツ工科大学) 教授である Jay W. Forrester によって考案されたシミュレーション手法である。その当時、この手法は企業の変化を予測するためのものであったため、インダストリアル・ダイナミックス (ID) と呼ばれていた。1967 年に Forrester 教授は、この方法を都市問題・地域問題に適用したアーバン・ダイナミックス (UD) を開発した。さらに、1970 年には地球規模の資源問題を取り扱うワールド・ダイナミックス (WD) と呼ばれる世界モデルの構築に着手した。1972 年には彼の弟子である Dennis L. Meadows が、この手法を用いて「成長の限界」を出版している。その後、国家レベルの問題を扱うナショナル・ダイナミックス (ND) などが開発され、1980 年代以来、この手法はシステム・ダイナミックスと呼ばれるようになった。現在、システム・ダイナミックスは、都市計画・地域計画の政策的問題の検討、新製品のマーケティング戦略、研究開発投資に関する意思決定、企業成長・景気変動のような社会現象の科学的研究、人間活動とエコシステムの相互関係の解明といったさらに広範な問題を検討するために用いられている。

5.2.2 窒素循環モデルの概念

図 5-4 は、耕畜連携における窒素循環モデルの概念図を示している。このモデルは、稲作生産、肉牛生産、環境の 3 部門により構成されており、農業副産物（イナワラ）、畜産廃棄物（糞尿）の再資源化を行うものである。このモデルにおいて、減反などにより放棄された水田の一部は、茎葉も含めた全体で飼料に利用する飼料稲の生産を行う飼料田に転換する。飼料稲の生産利用が普及すれば、余った水田を活用でき、飼料の輸入を減らすこともできる⁴⁶⁾。肉牛生産においては、イナワラや飼料稲を飼料として肉牛に給与し、不足する飼料は海外から輸入するものとする。また、稲作生産における余剰イナワラの一部は肥料として水田土壌に還元するが、さらに肉牛の糞尿より生産した牛厩肥および化学肥料により窒素を補う。施肥標準の範囲内で肥料が適切に使用されれば、環境への悪影響は少ないと判断されている⁴²⁾ので、本研究においてはこれらの肥料による環境負荷はないものと仮定した。一方、肉牛の余剰糞尿は環境中に排出され環境負荷になるものとした。

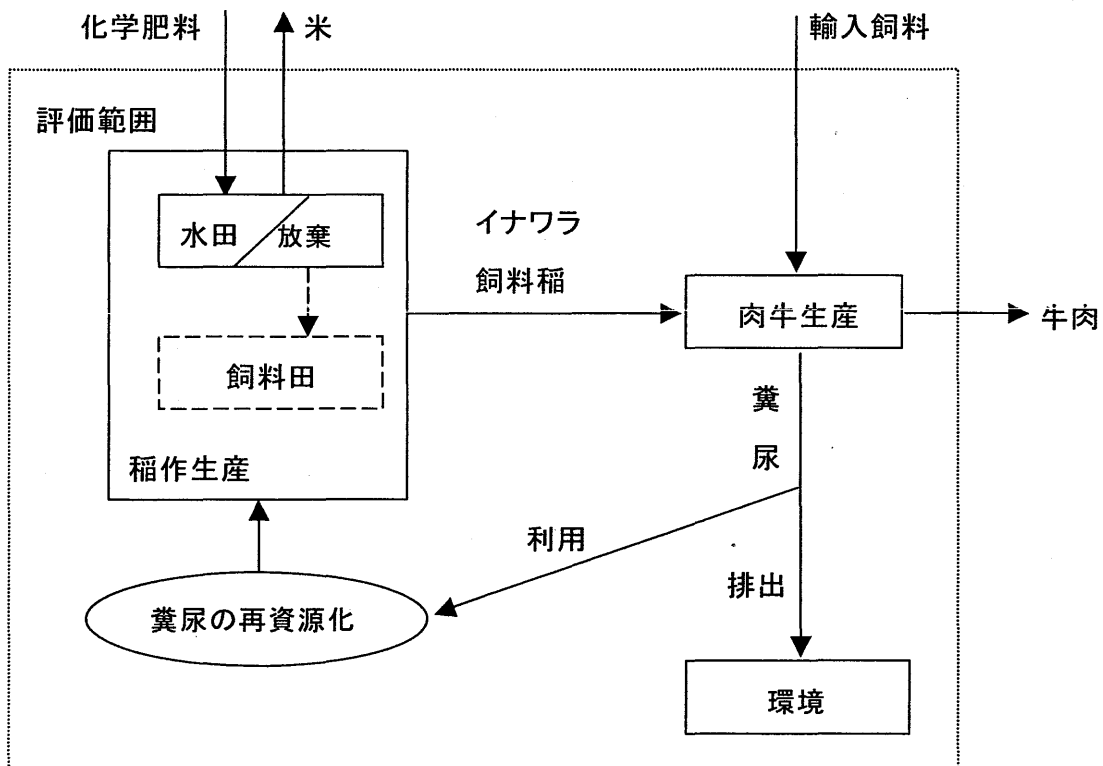


図 5-4 耕畜連携における窒素循環モデルの概念図

5.2.3 肉牛生産のシナリオ

5.2.3.1 従来型

従来型のシナリオでは、肉牛生産と稲作生産はそれぞれ専門化し、両者の連携は非常に限定されている。このシナリオでは、農業副産物であるイナワラの一定割合を飼料として肉牛に給与するが、不足する飼料はすべて海外から輸入する。また、稲作生産における余剰イナワラの一部は、肥料として水田土壌に還元するが、さらに肉牛の糞尿より生産した牛厩肥により窒素を補う。肉牛の余剰糞尿は環境中に排出するものとする。

5.2.3.2 循環生産型

循環生産型のシナリオでは、循環型水田面積割合に応じて水田の一部が循環型となる。循環型水田では、肉牛生産と稲作生産が連携し、非循環型水田では、肉牛生産と稲作生産が独立的に存在する。なお、循環型水田では生産されたイナワラ全量を非循環型水田ではその一部を肉牛生産に必要となるイナワラ要求量に応じ飼料として用いられる。一方、肉牛の糞尿は糞尿施用許容量の範囲で循環型水田および非循環型水田での土壌に還元される。

5.2.3.3 飼料稲生産型

飼料稲生産型のシナリオでは、飼料田転換割合に応じて放棄された水田の一部を飼料稲生産に割り当てる。飼料田と非循環型水田で生産されたイナワラ・飼料稲を肉牛生産に必要となるイナワラ要求量に応じて、できるだけ多く肉牛の飼料として使い、肉牛の糞尿もできるだけ多く飼料田と非循環型水田の土壌に還元する。

5.2.3.4 飼料稲生産・循環生産複合型

循環生産型と飼料稲生産型を複合したシナリオであり、循環型水田面積割合に応じて水田の一部が循環型となり、飼料田転換割合に応じて放棄された水田の一部が飼料稲生産型となる。循環型水田、非循環型水田、飼料田で生産されたイナワラ・飼料稲を肉牛生産に必要なイナワラ要求量に応じて、できるだけ多く肉牛の飼料として使い、肉牛の糞尿もできるだけ多く循環型水田、非循環型水田、飼料田水田の土壌に還元する。

5.2.4 窒素循環モデルの構築

5.2.4.1 STELLA の概要

本研究で用いた STELLA (High Performance Systems 製) は、システム・ダイナミックスをコンピューター上でシミュレートするソフトウェアである。STELLA は、画面上で対話形式によりモデル作成を行い、式やパラメータを設定すると自動的に結果が得られるというユーザーインターフェースを持っていることを特徴としている。図 5-5 に示した STELLA のモデル構築用ブロックの説明は以下の通りである。

1) ストック

ストックは、個体数、貯水池の水など蓄積するものを表すのに使う。水田面積や飼料田面積や環境中窒素排出総量などが表現される。

2) フロー

フローは、活動を表すために用いるブロックで、具体的にはストックの単位時間当たりの変化量である。上に「T」の付いたアイコンの円形部は、フローの調節機能（フローレギュレータ）であり、パイプを流れる量を決定す

る数式が定義されている。水田面積の減少や飼料田の増加などが相当する。

3) コネクタ

コネクタは、フローを調節するために用いられる情報を転送する。コネクタは、フローやコンバータ（次に説明）には接続できるが、ストックに接続することはできない。イナワラ生産量や飼料稲生産量などを算出する要素として用いられる。

4) コンバータ

コンバータには、出力値を生成するための数式が定義されており、情報を取り込んで変換する。コンバータには定数値の保存も可能である。計算されたイナワラ生産量、飼料稲生産量、飼料自給率および単位面積当たりイナワラ生産量などを表す。

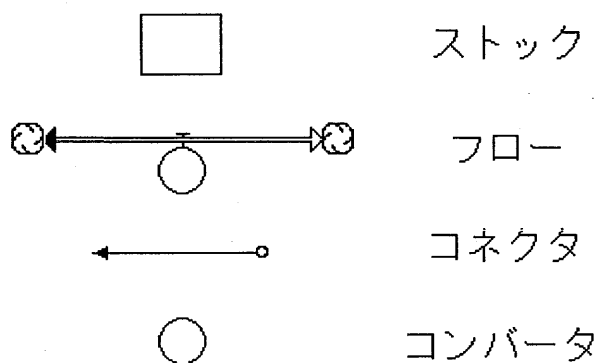


図 5-5 STELLA のモデル構築用ブロック

5.2.4.2 肉牛肥育・稲作複合システムのモデル

1) モデルの全体像

モデルは稲作生産システム、肉牛生産システム、窒素バランスの三つのシステムからなる。それらは相互に関連しモデルを構成する。すなわち、イナワラ生産量、飼料稲生産量、窒素施用要求量は稲作生産システムの出力値となり、牛肉生産システムの入力値となる。水田・飼料田面積は稲作生産システムの出力値となり、窒素バランスの入力値となる。また、肉牛の糞尿量、環境中糞尿排出総量は肉牛生産システムの出力値となり、窒素バランスの入力値となる。

2) 稲作生産システム

図 5-6 は、稲作生産システムモデルの構造図である。このモデルにおいて、2001～2015 年までの水田面積は、1975～1998 年の水田面積⁴⁸⁾から以下の式によって予測した。

$$\text{rice_area}(t+1) = \text{rice_area}(t) - d_rice_area \quad (5-1)$$

ここで、 $\text{rice_area}(t)$ は t 年の水田面積(ha)であり、2000 年の水田面積(初期値)は 1,843,259(ha)である。 d_rice_area (ha)は毎年の水田面積減少量であり、31,686(ha)となっている。

また、水田面積の実績値と予測値は、図 5-7 に示している。

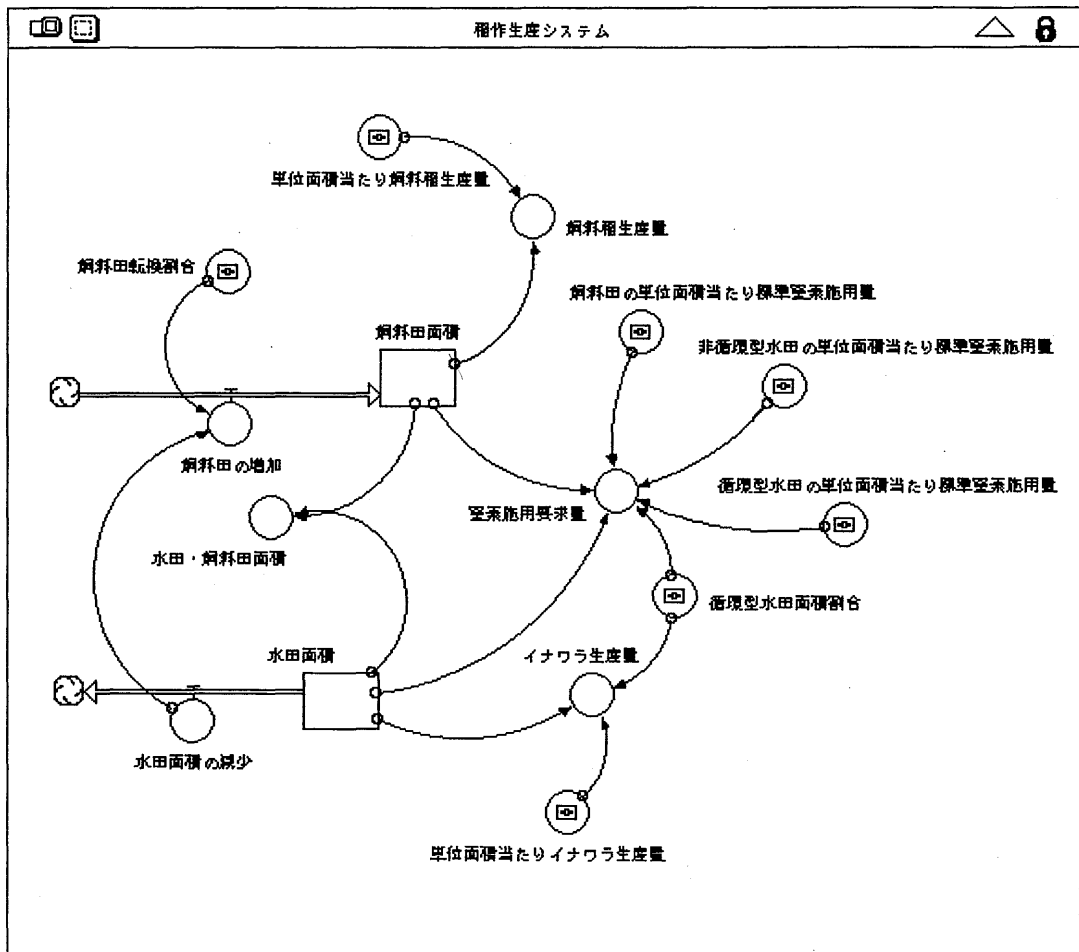


図 5-6 稲作生産システムモデルの構造図

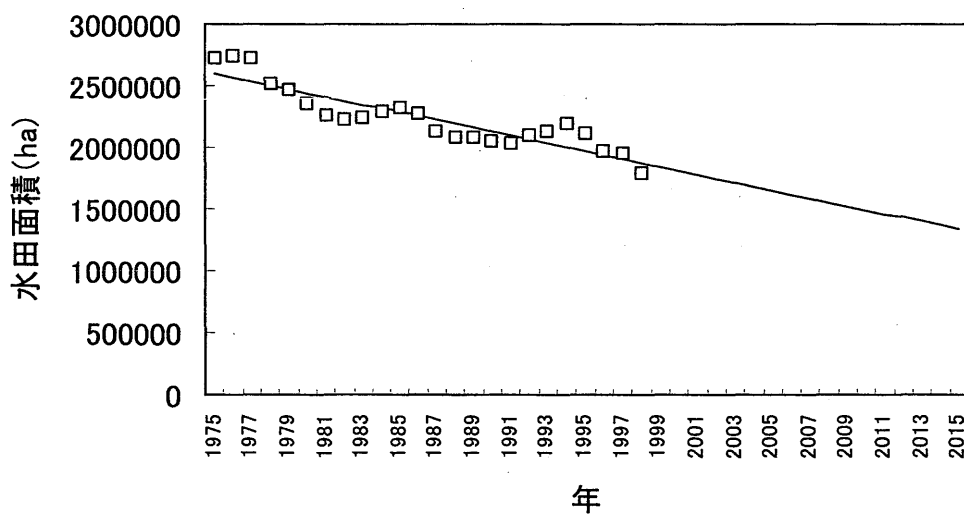


図5-7 水田面積の実績値と予測値

— 予測値 □ 実績値

同様に、2001～2015 年までの飼料田面積(ha)を以下の式により計算した。

$$\text{feed_area}(t+1) = \text{feed_area}(t) + d_feed_area(t) \quad (5-2)$$

ここで、 $\text{feed_area}(t)$ は t 年の飼料田面積(ha)であり、2000 年の飼料田面積(初期値)は 0(ha)と設定した。また、 $d_feed_area(t)$ は t 年の飼料田増加面積(ha)であり、以下の式で求められる。

$$d_feed_area(t) = d_rice_area \times r_feed_area(t) \quad (5-3)$$

ここで、 $r_feed_area(t)$ は t 年の飼料田転換割合である。

また、 t 年の飼料稲生産量 $\text{feed_prod}(t)$ (kg)は以下の式により求められる

$$\text{feed_prod}(t) = \text{feed_area}(t) \times \text{prod_per_feed} \quad (5-4)$$

この式において、 prod_per_feed は単位面積当たりの飼料稲生産量である。飼料田で生産される飼料稲は、食物としての品質は良くないものの、単位面積当たりの生産量は茎葉も含め全体で 14,000～16,000 (kg/ha)とされている²⁾ため、本研究ではこの値を 15,000 (kg/ha)と設定した。

さらに、 t 年のイナワラ生産量 $\text{straw_prod}(t)$ (kg)を以下の式により計算した。

$$\begin{aligned} \text{straw_prod}(t) = & \text{rice_area}(t) \times r_cycle_rice(t) \\ & \times \text{straw_prod_per_area} + \text{rice_area}(t) \\ & \times (1-r_cycle_rice(t)) \times \text{straw_prod_per_area} \\ & \times r_straw_use \end{aligned} \quad (5-5)$$

ここで、 $r_cycle_rice(t)$ は t 年の循環型水田面積割合、 $\text{straw_prod_per_area}$ は単位面積当たりのイナワラ生産量(kg/ha)で、本研究では 5,500 (kg/ha)⁴⁹⁾と設定した。 r_straw_use は、非循環型水田で生産さ

れたイナワラのうち、飼料として利用されるイナワラの割合であり、本研究では0.06と設定した。

次に、 t 年の窒素施用要求量 $n_demand(t)$ (kg) を以下の式により計算した。

$$\begin{aligned} n_demand(t) = & feed_area(t) \times per_feed_n_demand + rice_area(t) \\ & \times r_cycle_rice \times per_c_rice_n_demand \\ & + rice_area(t) \times (1-r_cycle_rice) \\ & \times per_nc_rice_n_demand \end{aligned} \quad (5-6)$$

ここで、 $per_feed_n_demand$ は、飼料田の単位面積当たり標準窒素施用量であり、150(kg/ha)と設定した。また、 $per_c_rice_n_demand$ は、循環型水田の単位面積当たり標準窒素施用量であり 75(kg/ha)⁵⁰⁾ と設定した。 $per_nc_rice_n_demand$ は非循環型水田の単位面積当たり標準窒素施用量であり 10(kg/ha)と設定した。

3) 肉牛生産システム

図 5-8 は、肉牛生産システムモデルの構造図である。このモデルにおいて、2001～2015 年までの肉牛頭数は、1975～1997 年の肉牛頭数¹⁹⁾から以下の式(5-7)、(5-8)によって予測した。肉牛頭数の実績値と予測値は、図 5-9 に示している。

$$head(t+1) = head(t) + d_head(t) \quad (5-7)$$

$$d_head(t) = -4275.04645 \times (2t + 1) + 17033655.36602 \quad (5-8)$$

ここで、 $head(t)$ は t 年の肉牛頭数(頭)であり、2000 年の肉牛頭数(初期値)は 4,630,294(頭)である。 $d_head(t)$ は t 年の肉牛頭数減少量(頭)である。

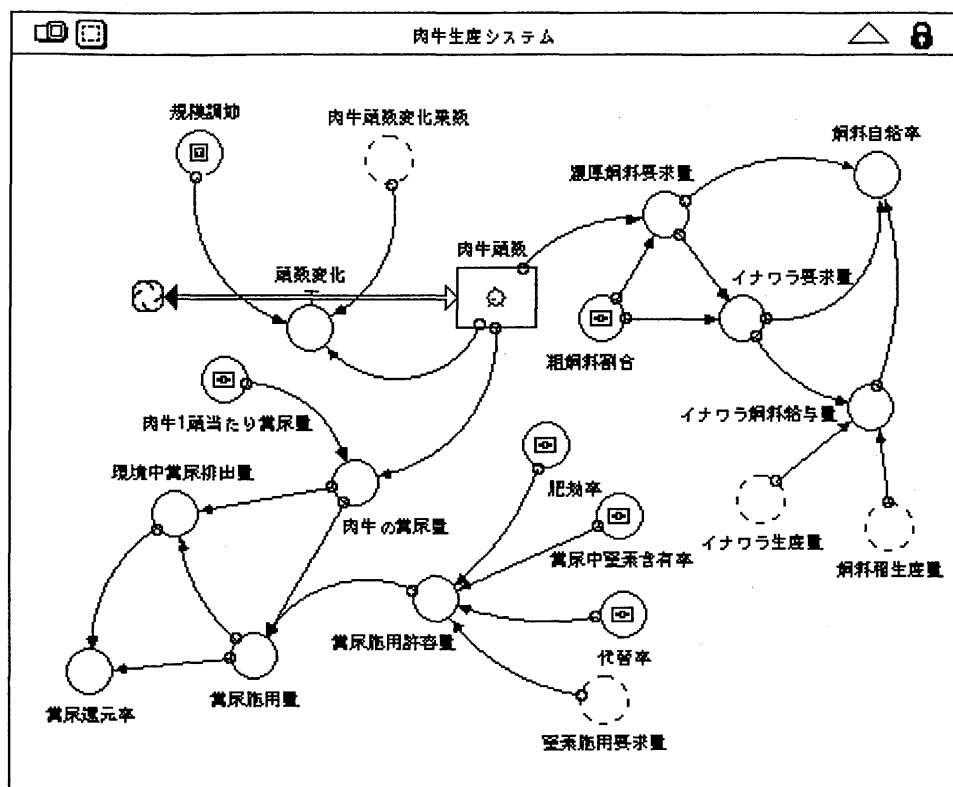


図 5-8 肉牛生産システムモデルの構造図

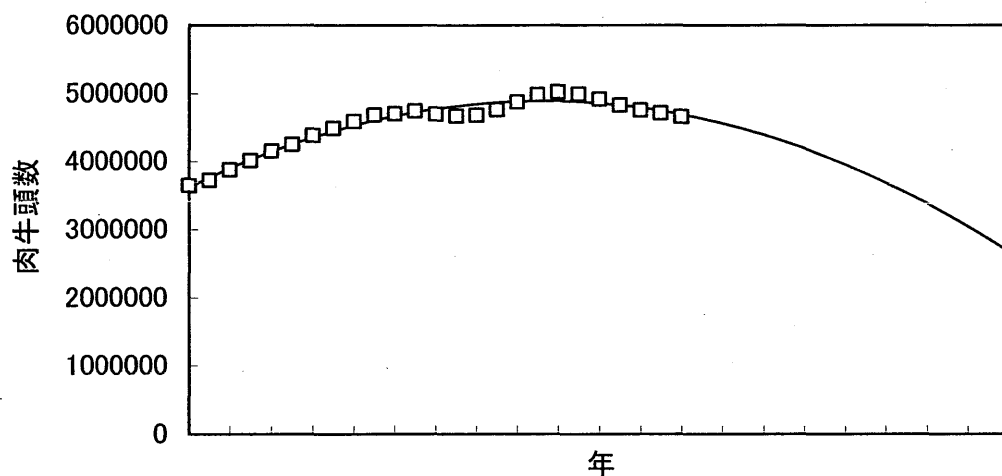


図5-9 肉牛頭数の実績値と予測値

□ 実績値 — 予測値

次に、 t 年における糞尿施用要求量 $\text{manure_demand}(t)$ (kg) は以下の式により計算した。

$$\text{manure_demand}(t) = \text{n_demand}(t) \times \text{manure_subs} / \text{n_manure} / \text{manure_eff} \quad (5-9)$$

ここで、 n_manure は糞尿中窒素含有率であり 0.0057 と設定した⁴²⁾。 manure_eff は肥効率（牛厩肥中に含まれる肥料成分のうち、施用年に化学肥料と同じ効果を発揮する割合）であり 0.3 と設定した⁴²⁾。 manure_subs は代替率（牛厩肥が化学肥料の代替となる率）であり 0.3 と設定した⁴²⁾。

また、 $\text{manure}(t)$ は t 年の肉牛糞尿量 (kg) であり、以下の式で求められる。

$$\text{manure}(t) = \text{head}(t) \times \text{per_head_manure} \quad (5-10)$$

ここで、 per_head_manure は肉牛 1 頭当たりの年間糞尿量 (kg/頭) であり、10,000 (kg/頭) と設定した。

t 年の糞尿施用量 $\text{manure_use}(t)$ (kg) は、肉牛糞尿量が糞尿施用要求量より多ければ、糞尿施用要求量により施肥を行い、余剰分は環境中に排出する。逆に、肉牛糞尿量が糞尿施用要求量より少なければ、肉牛糞尿はすべて施肥に用いる。つまり、

$$\text{manure_use}(t) = \text{manure_demand}(t) \quad (5-11)$$

$$\text{manure_use}(t) = \text{manure}(t) \quad (5-12)$$

となる。

t 年の環境中糞尿排出量 $\text{manure_output}(t)$ (kg) は以下の式により求められる。

$$\text{manure_output}(t) = \text{manure}(t) - \text{manure_use}(t) \quad (5-13)$$

さらに、t 年の糞尿還元率 $R(t)$ を以下の式により計算した。

$$R(t) = \text{manure_use}(t) / \text{manure}(t) \quad (5-14)$$

一方、給与飼料中の粗飼料割合を p 、イナワラの TDN 含量を a 、濃厚飼料の TDN 含量を b とすると、t 年の濃厚飼料飼料要求量 $\text{con_feed_demand}(t)$ (kg) とイナワラ要求量 $\text{straw_demand}(t)$ (kg) は、以下の式(5-15)、(5-16)により求められる。

$$\begin{aligned} \text{con_feed_demand}(t) = & 1758.25 / (b + a \times p / (1 - p)) \\ & \times \text{head}(t) \end{aligned} \quad (5-15)$$

$$\text{straw_demand}(t) = \text{con_feed_demand}(t) \times p / (1 - p) \quad (5-16)$$

本研究では、 p を 0.3、 a を 0.376⁵⁾、 b を 0.720⁵⁾ と設定している。

t 年のイナワラ飼料給与量 $\text{straw_use}(t)$ (kg) については、t 年における飼料稲生産量とイナワラ生産量の合計がイナワラ要求量より多ければ、イナワラ要求量を給与し、余剰分は放棄する。逆に、t 年における飼料稲生産量とイナワラ生産量の合計がイナワラ要求量より少なければ、飼料稲生産量とイナワラ生産量の合計を給与する。つまり、

$$\text{straw_use}(t) = \text{straw_demand}(t) \quad (5-17)$$

$$\text{straw_use}(t) = \text{feed_prod}(t) + \text{straw_prod}(t) \quad (5-18)$$

となる。なお、不足する飼料はすべて海外から輸入するものとする。

さらに、t 年の TDN 換算飼料自給率 $Q(t)$ を以下の式により計算した。

$$\begin{aligned} Q(t) = & (\text{straw_use}(t) \times a) / (\text{straw_demand}(t) \times a + \\ & \text{con_feed_demand}(t) \times b) \end{aligned} \quad (5-19)$$

4) 窒素バランス

図 5-10 は、窒素バランスモデルの構造図である。このモデルにおいて t 年の環境中窒素排出総量 $n_envi_output(t)$ (kg) は以下の式により求められる。

$$n_envi_output(t) = n_envi_output(t - 1) + n_input(t) \quad (5-20)$$

ここで、2000 年の環境中窒素排出総量(初期値)を 0(kg)とした。 $n_input(t)$ は t 年の環境中窒素流入量(kg)であり、以下の式で求められる。

$$n_input(t) = manure_output(t) \times n_manure \times (1 - r_n_out) \quad (5-21)$$

式(5-21)において、 r_n_out は窒素揮散割合である。肉牛の糞尿は排出時やその後の過程で一部はアンモニアとなって大気に揮散する。家畜から排出される糞尿のうち 12(%)がアンモニアとなって揮散され、残りの 88(%)は土壌や環境に蓄積されるとされている⁵⁰⁾ため、本研究では r_n_out を 0.12 と設定した。

次に、 t 年における単位面積当たり窒素負荷量 $n_per_area(t)$ (kg/ha) を以下の式のように定義した。

$$n_per_area(t) = manure(t) \times manure_N / total_area(t) \quad (5-22)$$

ここで、 $total_area(t)$ は、 t 年における水田と飼料田の総面積であり、以下の式により求められる。

$$total_area(t) = straw_area(t) + rice_area(t) \quad (5-23)$$

さらに本研究では、従来型のシナリオをベースに、単位面積当たり窒素負荷量が一定値を超えた場合に肉牛の飼養規模を制限する場合の環境中窒素排出量、糞尿還元率、TDN 換算飼料自給率についてもシミュレーションにより予測を行った。実際、ヨーロッパでは家畜排泄物の散布量や家畜飼養密度を制限している国や地方が少なくない⁵⁰⁾。水稻栽培には地力が重視されるが、一般の栽培条件での窒素要求量はあまり多くなく、100 (kg/ha) 前後のところが多い⁴²⁾。そこで、本研究では窒素施用目標値 n_limit を 100 (kg/ha) として、式(5-8)を以下の式(5-24)に置き換えた。

$$d_head(t) = -4275.04645 \times (2t + 1) + 17033655.36603 - head(t-1) \times m_r_head \quad (5-24)$$

ここで、 m_r_head は肉牛頭数変化乗数であり、肉牛頭数変化率を r_head として、 $n_per_area(t)$ が n_limit を超えた場合、

$$m_r_head = r_head \quad (5-25)$$

逆に、 $n_per_area(t)$ が n_limit 以下の場合、

$$m_r_head = - r_head \quad (5-26)$$

とする。

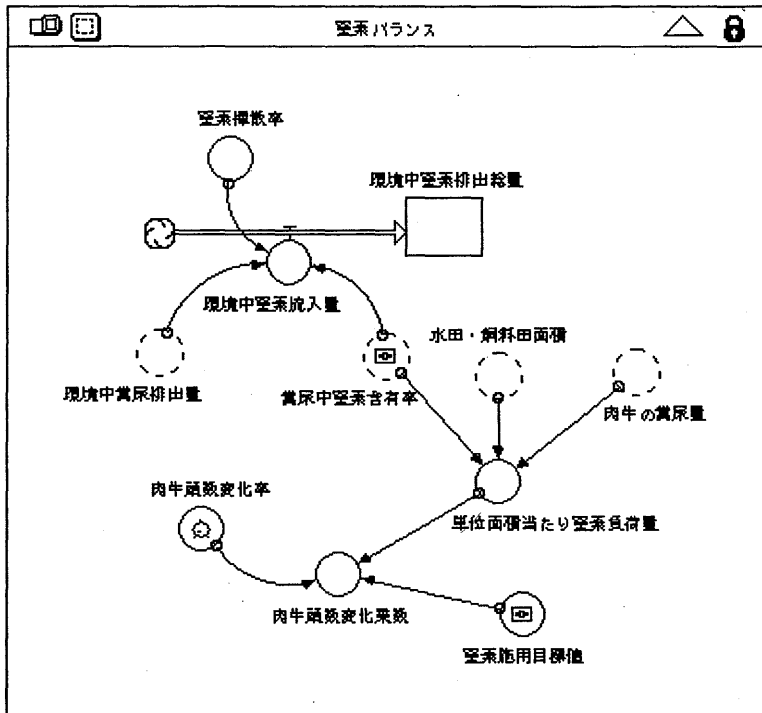


図 5-10 窒素バランスモデルの構造図

5.2.4.3 シミュレーション条件

本研究では、2.3 で述べた 4 つのシナリオに基づいてシミュレーションを行っているが、それらのシミュレーション条件は以下の通りである。

1) 従来型

循環型水田面積割合、飼料田転換割合は 0 で変化しないものとする。すなわち、

$$r_cycle_rice(t) = 0 \quad (5-27)$$

$$r_feed_area(t) = 0 \quad (5-28)$$

なお、飼養規模調節を行う場合、 r_head を 0.02、0.04 に設定した。

2) 循環生産型

2000 年における循環型水田面積割合、飼料田転換割合は 0 で、循環型水田面積割合のみ毎年 3 (%) 上昇させる。すなわち、

$$r_cycle_rice(t) = r_cycle_rice(t) + 0.03 \quad (5-29)$$

$$r_cycle_rice(2000) = 0 \quad (5-30)$$

$$r_feed_area(t) = 0 \quad (5-31)$$

3) 飼料稲生産型

2000 年における循環型水田面積割合、飼料田転換割合は 0 で、飼料田転換割合のみ毎年 3 (%) 上昇させる。すなわち、

$$r_cycle_rice(t) = 0 \quad (5-32)$$

$$r_feed_area(t) = r_feed_area(t-1) + 0.03 \quad (5-33)$$

$$r_feed_area(2000) = 0 \quad (5-34)$$

4) 飼料稲生産・循環生産複合型

2000 年における循環型水田面積割合、飼料田転換割合は 0 で、両者とも毎年 3 (%) 上昇させる。すなわち、

$$r_cycle_rice(t) = r_cycle_rice(t) + 0.03 \quad (5-35)$$

$$r_cycle_rice(2000) = 0 \quad (5-36)$$

$$r_feed_area(t) = r_feed_area(t-1) + 0.03 \quad (5-37)$$

$$r_feed_area(2000) = 0 \quad (5-38)$$

5.3 結果と考察

5.3.1 環境中窒素排出総量

図 5-11 は、従来型、循環生産型、飼料稲生産型、飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオによる環境中窒素排出総量の予測値である。この図によると、肉牛頭数の減少に伴って環境中窒素排出総量の増加は緩やかになった。2015 年における環境中窒素排出総量は従来型で 270.2 万トンになるが、循環生産型、飼料稲生産型、飼料稲生産・循環生産複合型では、それぞれ 264.4 万トン、242.4 万トン、236.7 万トンとなった。すなわち、循環型水田面積割合と飼料田転換割合を毎年 3(%) 増やす飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオにより、環境中窒素排出総量は最大 12(%) 減らすことが可能となる。しかし、環境中への窒素排出削減効果は、飼料稲生産によるものは小さく、循環型生産によるものが大きい。

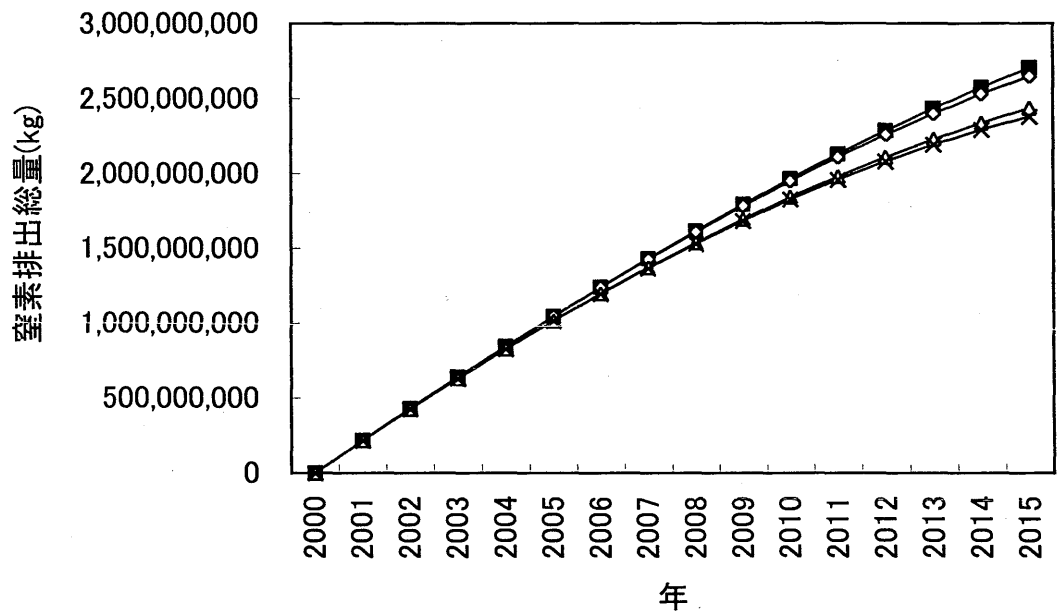


図5-11 環境中窒素排出総量

- 従来型
- ◇ 飼料稲生産型
- △ 循環生産型
- × 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.2 糞尿還元率

図5-12は、従来型、循環生産型、飼料稲生産型、飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオによる糞尿還元率の予測値である。この図によると、従来型以外では糞尿還元率が大きく増加することがわかる。2000年の糞尿還元率は7(%)であったが、2015年における従来型、循環生産型、飼料稲生産型、飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオによる糞尿還元率は、それぞれ9、19、35、45(%)となった。従来型のシナリオにおける糞尿還元率の増加原因は肉牛頭数の減少だけであるが、他のシナリオではそれ以外に、循環型水田面積、飼料田面積の増加が関係している。糞尿還元率が最も増加する飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオでは、2015年の時点で糞尿還元率を2000年より37ポイント増やすことが可能である。

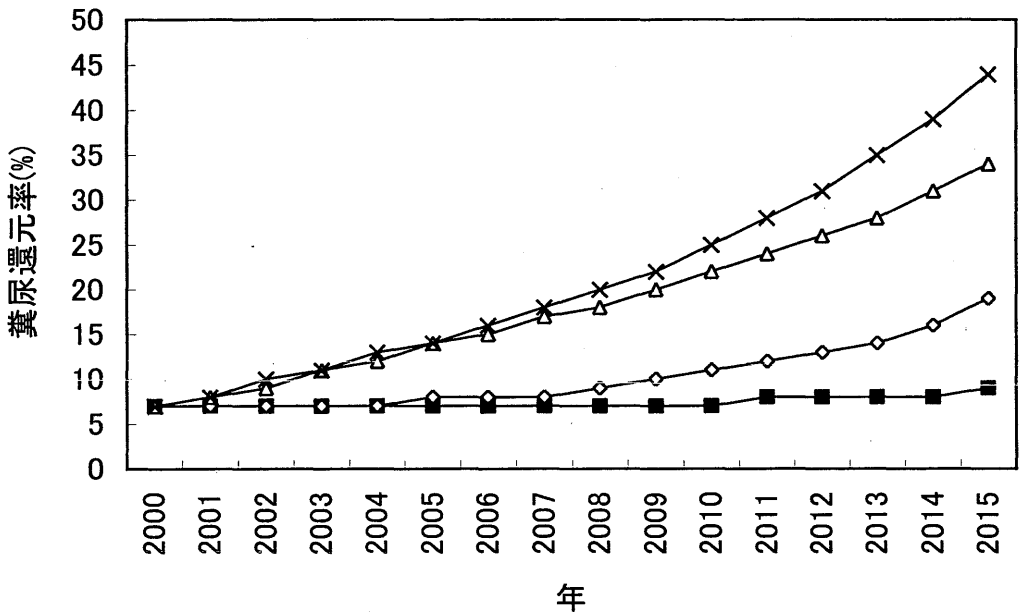


図5-12 糞尿還元率

- 従来型
- ◇— 飼料稲生産型
- △— 循環生産型
- ×— 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.3 TDN 換算飼料自給率

図 5-13 は、従来型、循環生産型、飼料稲生産型、飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオによる TDN 換算飼料自給率の予測値である。本研究では、粗飼料割合を 0.3 としたため、式 (5-15)～(5-19) により、飼料自給率の最大値は 18(%) となる。図 5-13 によると、2000 年における飼料自給率は 3(%) であるが、2015 年には従来型では 4(%) となり、循環生産型では 16(%) となった。飼料稲生産型では 2011 年に、飼料稲生産・循環生産複合型では 2009 年に最大値の 18(%) に達した。

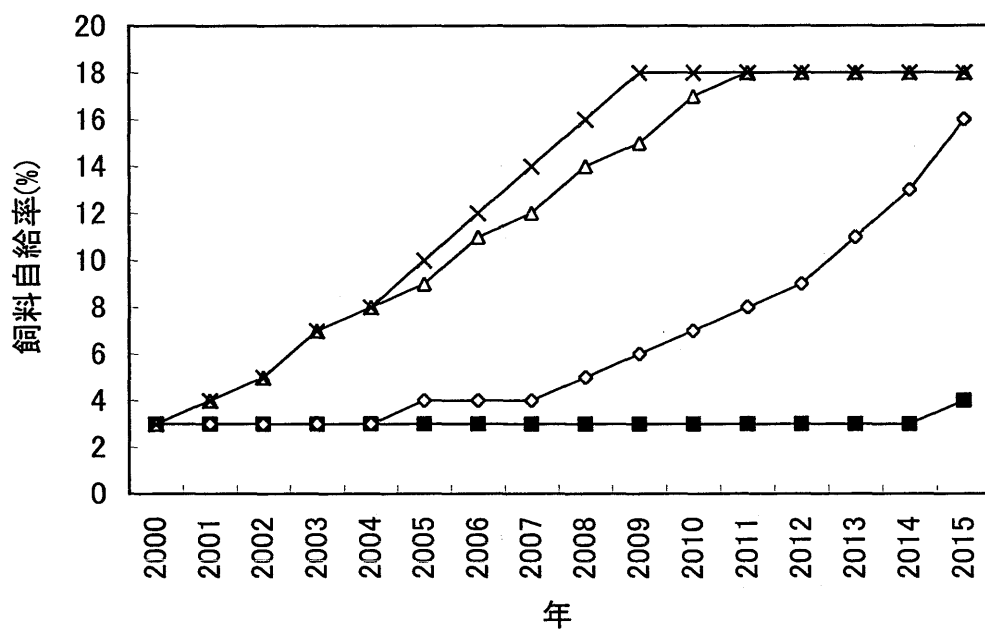


図5-13 TDN換算飼料自給率

- 従来型
- ◇ 飼料稲生産型
- △ 循環生産型
- × 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.4 飼養規模調節

本研究では、単位面積当たりの窒素負荷量が窒素施用目標値を超えた場合、飼養頭数の調整をおこなう。2000 年の肉牛頭数（初期値）は 460 万頭で、式(5-7)、(5-8)により、2015 年の肉牛頭数は 267 万頭まで減少すると仮定している。この条件の下で、式(5-25)、(5-26)における飼養規模調節による肉牛頭数変化率を 0.02 あるいは 0.04 に設定した場合のシミュレーション結果を以下に示す。なお、飼養規模調節を行った場合の結果は、従来型および飼料稲生産・循環生産複合型で比較を行った。

5.3.4.1 肉牛頭数および窒素負荷量

図 5-14 は肉牛頭数変化率を 0.02、0.04 に調整した場合、肉牛頭数の変化を示している。また図 5-15 は単位面積当たり窒素負荷量を表している。

肉牛頭数変化率を 0.02 に設定すると、2011 年の肉牛頭数は 256 万頭、単位面積当たり窒素負荷量は 94.3(kg/ha)となり、窒素施用目標値 100(kg/ha)より低くなる。その後、窒素施用目標値 100(kg/ha)より低くなりはじめ、その後、肉牛頭数は同じ水準で変動し、2015 年には 248 万頭となる。

一方、肉牛頭数変化率を 0.04 に設定すると、2007 年には肉牛頭数が 287 万頭、単位面積当たり窒素負荷量は 99.8(kg/ha)となり、窒素施用目標値 100(kg/ha)より低くなる。その後、肉牛頭数は同じ水準で変動し、2015 年には 259 万頭となる。従来型のシナリオでも、2015 年における単位面積当たり窒素負荷量は 111.3(kg/ha)であり、肉牛頭数が予測通りに減少すれば、飼養規模調節を行わなくても窒素負荷量は十分に小さくなることが示唆された。また、窒素施用目標値 100(kg/ha)の場合、肉牛頭数は 260 万頭前後が単位面積当たり窒素負荷量からみて適正水準と考えられる。

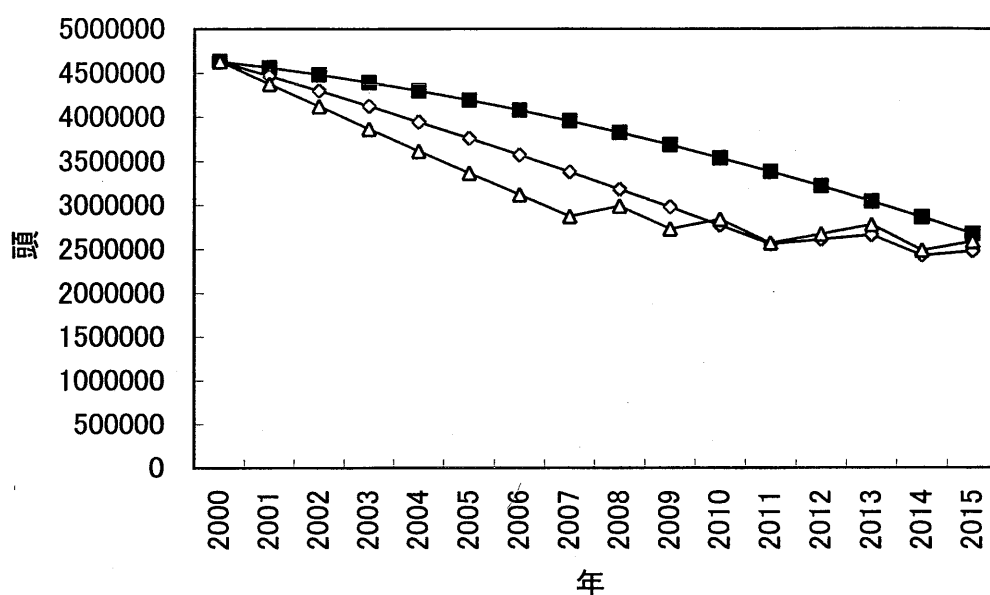


図5-14 肉牛頭数

- 従来型および飼料稲生産・循環生産複合型
- ◇ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.02)
- △ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.04)

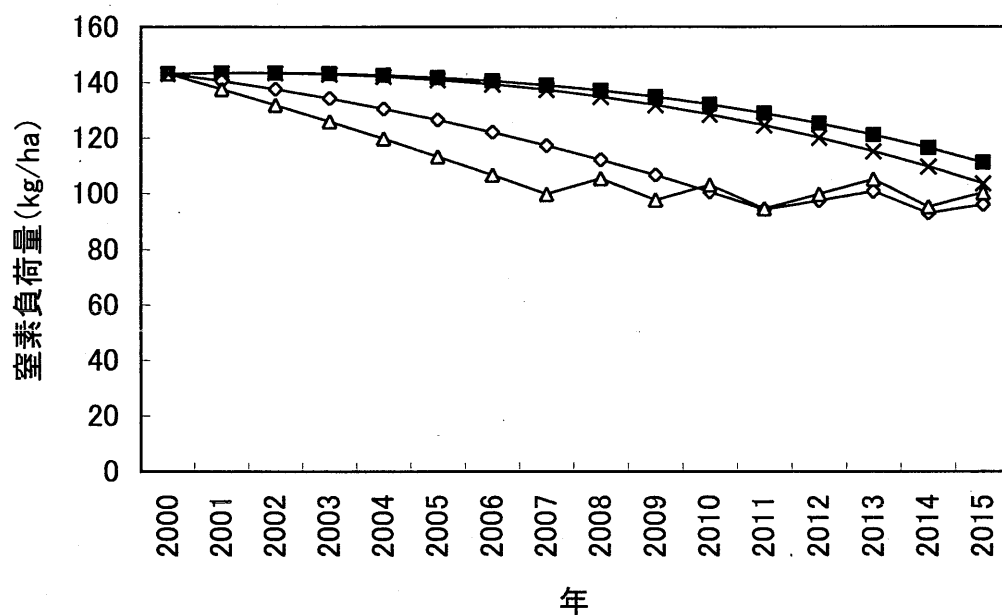


図5-15 単位面積当たり窒素負荷量

- 従来型
- ◇ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.02)
- △ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.04)
- × 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.4.2 環境中窒素排出総量

図 5-16 は、環境中窒素排出総量を示しており、肉牛頭数の減少に伴って環境中窒素排出総量の増加は緩やかになる。2015 年における環境中窒素排出総量は、最も多い従来型で 270.1 万トンになるが、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.02）、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.04）、飼料稲生産・循環生産複合型では、それぞれ 202.9 万トン、191.2 万トン、236.8 万トンとなった。規模調節により、飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオより、さらに環境中窒素排出総量を減らせる可能性が示された。

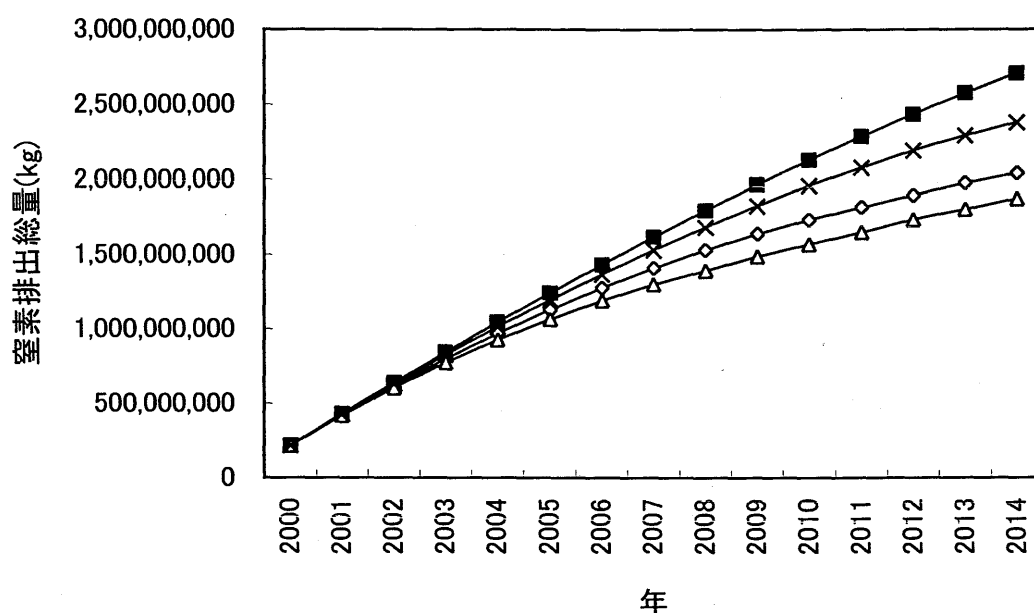


図5-16 環境中窒素排出総量

- 従来型
- ◇— 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.02)
- △— 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.04)
- ×— 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.4.3 糞尿還元率

図 5-17 は糞尿還元率を示しているが、従来型では糞尿還元率が 7~9%、ほとんど変化しないのに対して、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.02）、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.04）、飼料稲生産・循環生産複合型では糞尿還元率が大きく上昇している。2015 年における規模調節型（肉牛頭数変化率=0.02）、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.04）、飼料稲生産・循環生産複合型の糞尿還元率は、それぞれ 49、47、45(%)であり、この時点での糞尿還元率はほぼ同じであることが示された。

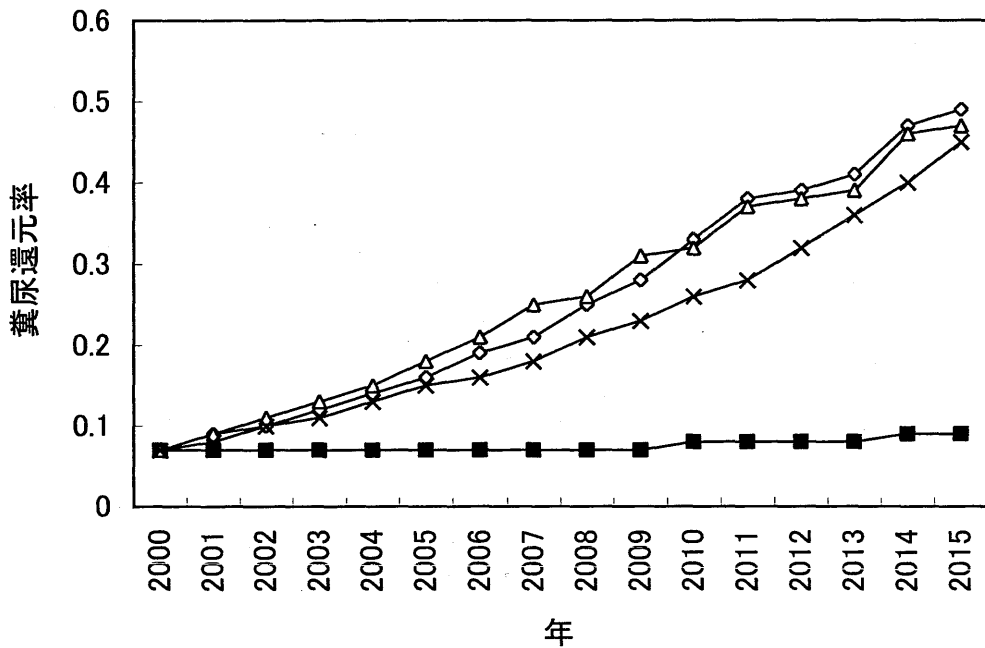


图5-17 粪尿還元率

- 従来型 ◇ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.02)
 ▲ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.04) ✕ 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.4.4 TDN 換算飼料自給率

図 5-18 は、TDN 換算飼料自給率を示している。この図によると、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.02）では 2008 年に、規模調節型（肉牛頭数変化率=0.04）では 2007 年に、飼料稲生産・循環生産複合型では 2009 年に飼料自給率が最大値 0.18 に到達しており、従来型を除けば飼料自給率に大きな差異がないのが特徴的である。

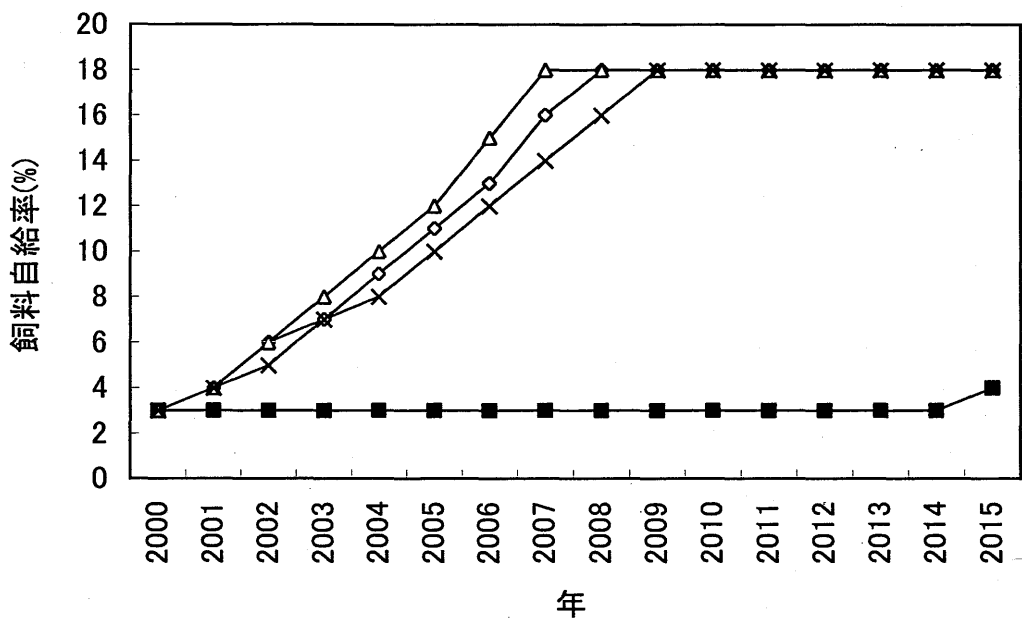


図5-18 TDN換算飼料自給率

- 従来型
- ◇ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.02)
- △ 規模調節型(肉牛頭数変化率=0.04)
- × 飼料稲生産・循環生産複合型

5.3.5 意思決定支援システム

本研究では、単純化のため全国を一律としてシミュレーションを行ったが、実際には家畜の糞尿によって排出される窒素量を単位面積あたりに換算すると、地域によって大きな差異がみられる。例えば、肉用牛由来による農耕地への窒素の負荷量は、宮崎県で 144.8(kg/ha)と最も多く、次いで鹿児島

県で 98.5 (kg/ha) となっている。逆に、石川県では 4.2 (kg/ha)、富山県では 4.4 (kg/ha)、福井県では 4.9 (kg/ha) と非常に少ない⁴²⁾。図 5-19 は、STELLA によって構築した耕畜連携における窒素循環モデルのためのインターフェースであるが、これにより単位面積当たり飼料稲生産量、単位面積当たりイナワラ生産量、循環型水田の単位面積当たり標準窒素施用量、非循環型水田の単位面積当たり標準窒素施用量、飼料田の単位面積当たり標準窒素施用量、肉牛頭数、粗飼料割合、肉牛 1 頭当たり糞尿量、代替率、肥効率、糞尿中窒素含有率、飼料田転換割合、循環型水田面積割合、規模調節型の選択、肉牛頭数変化率を自由に設定することができる。したがって、これらのパラメーターを地域ごとに設定すれば、地域ごとの環境中窒素排出総量、糞尿還元率、TDN 換算飼料自給量を予測することが可能である。これにより、地域の事情に応じた環境負荷の小さい肉牛生産の指標が得られ、生産システムの選択の一助となる。

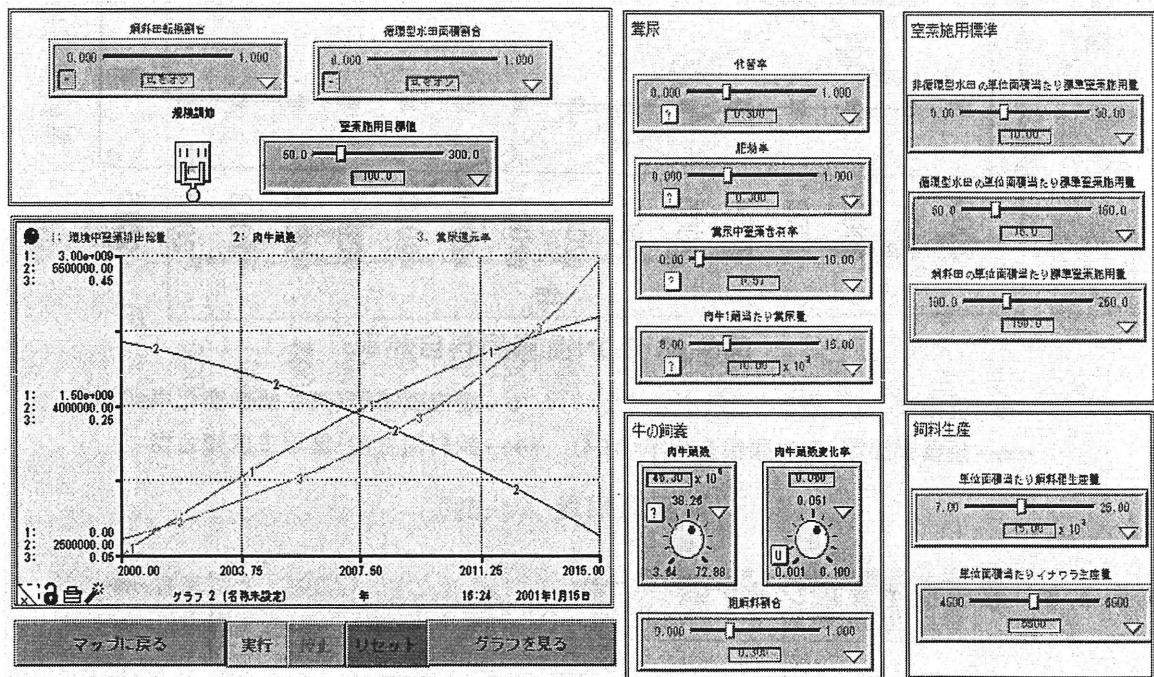


図 5-19 耕畜連携における窒素循環モデルのためのインターフェース

5.4 まとめ

本研究では、生産効率追求する従来型、農業副産物であるイナワラを有効利用する循環生産型、減反などにより放棄された水田を有効利用する飼料稲生産型、飼料稲生産型と循環生産型を組み合わせた飼料稲生産・循環生産複合型のシナリオにより、2001年から2015年までの環境中窒素排出総量、糞尿還元率、TDN換算飼料自給率をシステム・ダイナミックスによって予測した。さらに、従来型のシナリオにおいて、単位面積当たり窒素負荷量に応じて、肉牛の飼養規模調節を行う場合についても同様の予測を行った。

その結果、環境中窒素排出総量は、従来型のシナリオに対して循環生産型による削減効果が大きかった。糞尿還元率は、従来型のシナリオではほとんど変化しないが、環境中窒素排出総量同様、循環生産型によって大きく増加することが示された。TDN換算飼料自給率も、従来型以外のシナリオでは大きく増加し、特に循環生産型による飼料自給率の押し上げ効果が大きかった。さらに、飼養規模調節を行った場合、環境中窒素排出総量は従来型の69(%)まで減少することが示された。飼養規模調節を行った場合の糞尿還元率は、従来型のシナリオではほとんど変化しないのに対して、規模調節型では大きく上昇している。しかし、2015年における規模調節型と飼料稲生産・循環生産複合型の糞尿還元率に大差はなく、飼養規模調節を行わなくても、飼料稲生産や循環生産を行うことにより、窒素還元率を同程度にまで向上できることが示された。これにより、糞尿問題解決のためには、糞尿処理施設によって解決するよりも、むしろ農地面積を維持しながら糞尿を適切に農耕地に還元し、家畜と農耕作物の間において有機物を循環させることの有効性が示唆されたと言える。TDN換算飼料自給率も、従来型を除けば大差はなく、飼料稲生産や循環生産によって自給率が向上するものと考えられる。

山地の多い日本では家畜生産に必要な飼料を全て自給することは困難である。しかし、一定量の飼料を輸入しながらも、耕畜連携（循環生産）により地域資源を有効利用すれば、化学肥料による環境負荷の低減だけでなく、国土保全、飼料自給率向上、食料危機対策、安全な食料提供などのメリットもある。また、飼料稲の生産・利用が普及すれば、生産調整によって余った

水田を活用できるだけでなく、環境中への窒素排出量を削減し、糞尿還元率、飼料自給率を高められることが本研究で示されたが、そのためには、飼料稲の品種開発・栽培・家畜への給与に関するさらなる技術開発が必要である。

第6章 結論

本章では本研究の総括をおこなうとともに、今後の牛肉生産に関するいくつかの提言をおこなう。

第2章では、牛肉の生産・消費は、先進国では総じて鈍化ないし停滞傾向にあるなかで、発展途上国では大幅に増加しているため、世界全体では増加の傾向が見られている。今後とも、発展途上国の経済発展、人口増加に伴って、牛肉の生産・消費量はさらに増大すると考えられる。アジア、特に中国の経済発展はめざましく、それに伴う一人当たりの動物性蛋白質摂取量の増加は、世界の穀物需給に多大な影響を与えるだろう。また、肉牛生産の規模拡大、集約化により環境に大きな負荷を与え、多量の穀物、多量の補助エネルギーを消費するため食糧・エネルギー・環境の問題も懸念されている。

第3章では、統計資料の調査結果から、中国の牛肉の生産量とGDPは相関係数0.996という高い相関があることが示された。北京市、武漢市、赤峰市を対象としたアンケート調査の結果、人々の肉類に対する嗜好は、地域の生活、風土、文化、歴史の違いを反映して、地域によって異なっていることが示された。外国食文化の導入に関しては、首都である北京市が最も進んでいた。多くの回答者が牛肉を食べる量を今後増やしたいと答えていることから、今後も中国における牛肉の需要は増加を続けるものと思われる。しかし一方で、比較的高価な牛肉は、これらすべての地域で今もなお非日常的なものであることが示された。霜降牛肉に関する質問では、これらすべての地域で「食べたくない」とした回答が「食べたい」とした回答をやや上回った。巨大な人口を抱える中国の牛肉消費が今後も増え続ければ世界の穀物需給に及ぼす影響も非常に大きなものになると推測される。そのため、中国に適した肉牛生産システムの確立が必要であると考えられる。

第4章では、エネルギー消費の観点から肉牛生産システムをモデル化し、シミュレーションによる分析をおこなった。その結果、「肉牛肥育・稲作複

合システム」,「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では,粗飼料の割合が増加するほど,補助エネルギー効率が上昇し,補助エネルギー依存率が低下することが示された。さらに,これらの指標を用いて各生産システムに対する望ましい肥育頭数規模について検討を行ったところ,「肉牛肥育・稲作複合システム」では6(頭/ha)以下,「肉牛肥育・飼料生産複合システム」では3(頭/ha)以上であった。「肉牛放牧システム」では1.40(頭/ha)が限界であった。エネルギー問題が深刻化してきた今日,ウシの優れた特性を十分に生かし,その土地の条件に適した粗飼料多給という低補助エネルギー投入型の肉牛生産システムを構築すべきである。

第5章では,耕畜連携の観点から肉牛生産システムをシステムダイナミックスの手法により分析をおこなった。その結果,環境中窒素排出総量は,耕畜連携(循環生産)により,従来型のシナリオに対して大きく削減されることが示された。糞尿還元率,TDN換算飼料自給率は,従来型のシナリオではほとんど変化しないが,循環生産によって大きく増加した。さらに,飼養規模調節を行った場合,環境中窒素排出総量は従来型の69(%)まで減少することが示された。この場合の糞尿還元率は,従来型のシナリオではほとんど変化しないのに対して,飼養規模調節を行うことによって大きく上昇した。しかし,2015年における規模調節型と飼料稲生産・循環生産複合型の糞尿還元率に大差はなく,飼養規模調節を行わなくても,飼料稲生産や循環生産を行うことにより,窒素還元率を規模調節型と同程度にまで向上できるものと考えられる。

近代化の過程において,生物産業としての農業も,経済的収益性という単一指標をもって評価・発展してきた。それによる食料供給の拡大は人口増加率を大幅に上回り,世界中の飢えと栄養不足を減少させた。そこでは土地の収益性および労働性を向上するため,機械化,化学肥料多投入化,飼料の濃厚化,過密栽培・過密飼育化,環境制御化(薬剤多導入,温湿度管理)などが農業に指向されることとなった。しかし,近年になり,収量の伸びが鈍化して人口増加率を下回り始め,1984年以降は一人当たりの穀物生産量が低

下の一途をたどったため、食料逼迫の可能性も指摘されている。加えて、この集約農業のもとで引き起こされた環境汚染は、1960 年から潜在的な危機として問題視されてきている。農業生態系は自然生態系の中で、作物を中心とした生物的要素（雑草、昆虫、鳥獣、微生物など）と非生物的環境との間に複雑な相互作用が見られる一つの生態系である。そこにおける物質循環には生物間相互作用が大きな役割を果たしている。一つの例を挙げると、放牧草地では太陽エネルギーが牧草にキャッチされ、その一部が家畜に採食され、さらに家畜の排泄物や牧草の植物枯死体などの有機物が土壌有機物になり、微生物などの作用により分解されていく自然循環プロセスがある。このような生態系における物質循環と生物間相互作用をうまく使うことによって、化石エネルギーを使用することなく食糧生産性を上げられる可能性があることが明らかにされている³⁷⁾。現在、多くの先進国では近代農業がもたらした環境へのインパクトや持続性の喪失に対して、さまざまな問題提起や批判がなされ、解決策が取られつつある。なかにはオランダやデンマークのように、農薬や化学肥料の一定の低減目標を具体的に掲げて農業の環境に対する影響を減らそうとしている国もある。また有機農業や生態農業、あるいはバイオダイナミック農業などと呼ばれている新しい農業の姿も多くの国で実践されている。そうした背景のなか、21 世紀における肉牛生産のありかたは、ただ人類が求める食物を供給するのではなく、耕畜連携によって生態系の物質循環と生物間相互作用をうまく利用しながら地域風土条件に適合する穀物節約・省エネルギー・低環境負荷の環境保全型の生産でなければならないと考える。

中国では全世界の牧草地の 11.8%を有し、放牧飼養の潜在的な可能性が高い。また、農地の面積が広く穀物の生産量も多いため、イナワラ、ムギワラなどの農業副産物を飼料として利用でき、糞尿の土壌還元も可能である。しかし、全体的にみて中国は、人口の多さに比べて可耕地が少ないという矛盾を抱えているので、長期的に穀物の供給は不足気味の状況にある。したがって、穀物節約型の畜産業の発展に力を入れることこそ、問題解決の鍵であると考え。非穀物飼料資源、とりわけ作物の茎などの豊富な飼料

資源を科学的、合理的に活用することで、肉牛業を発展させるべきである。

第4章に述べたように、日本では穀物自給率は元々低いため、国内イナワラなどの農業副産物の有効利用、放棄水田の飼料稲の生産が濃厚飼料の低減、飼料自給率の向上に有効である。また、中山間地域は日本の国土面積の約7割を占めており、中山間地域の農業は、農業粗生産額、耕地面積ともに全国の4割前後を占めている。一方、過疎化・高齢化が進む中で、耕作放棄地が増加しているなど、地域社会の維持や国土・自然環境の保全等に支障が生じることが懸念されている。かつて、中山間地では肉用牛は野草地放牧あるいは刈取り野草で飼われていた。近年、牛飼養における野草地利用は激減しており、180万ha及ぶ採草放牧地は、現在1/10以下になっている。今日、中山間地といえども牛は牛舎に閉じこめられ飼育されている。林業、耕種農業、畜産を有機的に結合することができれば、低穀物消費の肉牛飼養が可能になると同時に、農山村の生態系の保全にも有意義であると考ええる。

また、畜産排泄物の問題がよく注目されている。家畜糞尿はえさが家畜の体内で消化吸収されたあとに残ったものであり、まだ多くの有機物（固体物当たり70～80%）を含んでいる。これを堆肥化することにより土壌・作物に安全・有効な肥料にして適切に農耕地に還元し、家畜と農耕作物の間の生態系に生ずる肥料成分の有機的なリサイクルを目指すことが、最も望ましい。余剰になる家畜排泄物については、耕種サイドで歓迎される形の堆肥にして流通を促進することは合理的であるし、それでも余剰になる家畜排泄物については、緑化などの非農地での利用や畜産飼料としての再利用、メタン発酵によるエネルギーとしての利用などが考えられる。糞尿の循環再利用は化学肥料の低減、環境負荷を低減できるなどの利点が多く、環境に調和した肉牛生産が実現できると考える。

自然環境と調和の取れた畜産・農業といった発想は、今日の人類が抱えている問題にも一定の示唆を与えるものである。現在、科学界と医療機関は、動物性脂肪を多く含む食事は心臓病、ガン、脳卒中などの「飽食病」にかかる危険性を高めると警告している。アメリカ公衆衛生局の報告書によると、

1987 年の国内死亡者総数 210 万人のうち、150 万人は飽和脂肪酸の摂取をはじめとする食生活上の要因に関連した病気で死亡している⁷⁾。日本でも、厚生省の調査によると、近年の食生活における動物性食品の利用度の向上は著しいものであり、年間消費量は昭和 25 年の 82g から最近の 335g まで約 4 倍に増加し、そのうち肉類に限ってみれば 9 倍に達しており⁸⁾、このような食生活の変化は、「飽食病」の広がりを見越させるものとなっている。従来では、動物性蛋白質比率は蛋白質栄養の一つの指標としてよく用いられてきており、食生活の近代化という目標を追い求める途上国（かつての日本もそれに含まれる）にとっては、重要な指標となっていた。食生活における動物性蛋白質比率の向上が健康な国民を生み出すと信じられていたのである。また、動物性蛋白質を摂取することがスタミナ・精力の源になるという信仰は現在でも根強いものがある。このような発想の強さ・広がり、今日に至る肉牛生産のあり方を方向付け、導いてきたと言えよう。しかし、欧米、日本などの先進国で「飽食病」が蔓延されている今日では、脂肪分の過剰な肉食を見直すべきことが主張され始めている。日本においても、「霜降牛肉こそが最高の牛肉」と見なすような食文化は考えなおされるべき時期に至っていると言えよう。

本研究は生物圏情報学という観点から循環型システムとして肉牛生産のシステムを考えてきたが、これからの社会にあっては、どんな牛肉を食べるべきか、或いはそもそも人間は何を食べていくべきか、といった根源的な問題が重要な課題として浮上してくるのかもしれない。本研究はもちろん人間の嗜好の是非までを論じようとするものではない。だが、ここまで検討してきた環境への負荷を最小化する肉牛生産という発想は、過剰な脂肪分を含んだ肉を人工的に作り出そうという発想とは対極にあるものであるということではできよう。生物圏の中において人類の生産活動を捉えようという本研究の発想は、言い換えるならば、自然環境の中での調和を目指そうという発想である。そして、この調和という思想は、個々人の食生活における調和・バランスという発想へと連なる。環境と産業の間のマクロ的な調和、そして、一人一人の個人の生活におけるミクロ的な調和。この双方がいかなる形で実

現できるかということが、これからの社会・人類にとって最も重要な課題の一つとなることは間違いなかろう。本稿は、そのような大きな課題を考察していくための最初の一步であると確信している。

引用文献

- 1) Food and Agriculture Organization of the United Nations (2000)
<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>.
- 2) 松村寛一郎・中村泰人 (2000) アジア各国食料需給モデルの構築. 環境科学学誌, 13(3), 339-349.
- 3) 白石和良 (1999) 中国の食料需給と環境問題. システム農学, 15(2), 121-130.
- 4) 原田靖生 (1992) 家畜排泄物の再資源化技術の方向－糞尿処理・利用の現状と今後の方向－. システム農学, 8(1), 44-48.
- 5) 広岡博之 (1998) 肉用肥育・水稲稲作複合システムに関する環境－経済モデルの開発とシミュレーション. システム農学, 14(2), 65-73.
- 6) 水間豊編 (1991) 畜産の近未来. 川島書店, pp414, 東京.
- 7) ジェレミー・リフキン (北濃秋子訳) (1993) 脱牛肉文明への挑戦. ダイアモンド社, pp402, 東京.
- 8) 宮崎昭 (1989) 中国の畜産、特に黄牛の肉用特性 - (1). 畜産の研究, 43, 16-22.
- 9) 宮崎昭 (1989) 中国の畜産、特に黄牛の肉用特性 - (2). 畜産の研究, 43, 263-270.
- 10) 宮崎昭・石田直彦 (1991) インド畜産の概況. 畜産の研究, 45, 388-392.
- 11) 宮崎昭・石田直彦 (1991) インド畜産の概況. 畜産の研究, 45, 521-528.
- 12) 世界資源研究所・国連環境計画・国連開発計画・世界銀行編 (1998) 世界の資源と環境 1998-99. 中央法規出版, pp371, 東京.
- 13) 田先威和夫監修 (1996) 新編畜産大事典. 養賢堂発行, pp1859, 東京.
- 14) LCA 実務入門編集委員会編 (1998) LCA 実務入門, CD-ROM. 産業環境管理協会, 東京.
- 15) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗 (2001) 牛肉生産におけるエネルギー分析. 肉用牛研究会報, 70, 163-172.
- 16) 農文協編 (1995) 畜産環境対策大事典. 農文協, 5-39, 東京.

- 17) 水間豊・上原孝吉・矢野秀雄・萬田正治編 (1998) 最新畜産学. 朝倉書店, pp246, 東京.
- 18) 農林省農林経済局統計調査部 (1969) 畜産統計－(家畜飼養の概況)－(昭和 41 年度 昭和 42 年度 調査). 農林統計協会, 17p, 東京.
- 19) 農林水産省統計情報部 (1998) 畜産統計 家畜飼養の概況 (平成 9 年 2 月 1 日調査) 鶏ひなふ化羽数統計(平成 8 年). 農林統計協会, pp289, 東京.
- 20) 張 競 (1997) 中華料理の文化史. 筑摩書房, 東京, pp238.
- 21) 朱希剛編 (1997) 跨世紀的探索：中国糧食問題研究. 中国農業出版社, 北京, pp303.
- 22) 国家統計局編 (1986) 中国統計年鑑 1986. 中国統計出版社, 北京, 192p.
- 23) 国家統計局編 (1987) 中国統計年鑑 1987. 中国統計出版社, 北京, 182p.
- 24) 国家統計局編 (1988) 中国統計年鑑 1988. 中国統計出版社, 北京, 262p.
- 25) 国家統計局編 (1989) 中国統計年鑑 1989. 中国統計出版社, 北京, 217p.
- 26) 国家統計局編 (1990) 中国統計年鑑 1990. 中国統計出版社, 北京, 378p.
- 27) 国家統計局編 (1991) 中国統計年鑑 1991. 中国統計出版社, 北京, 361p.
- 28) 国家統計局編 (1992) 中国統計年鑑 1992. 中国統計出版社, 北京, 373p.
- 29) 国家統計局編 (1993) 中国統計年鑑 1993. 中国統計出版社, 北京, 379p.
- 30) 国家統計局編 (1994) 中国統計年鑑 1994. 中国統計出版社, 北京, 352p.
- 31) 国家統計局編 (1995) 中国統計年鑑 1995. 中国統計出版社, 北京, 354p.
- 32) 国家統計局編 (1996) 中国統計年鑑 1996. 中国統計出版社, 北京, 378p.
- 33) 国家統計局編 (1997) 中国統計年鑑 1997. 中国統計出版社, 北京, 390p.
- 34) 国家統計局編 (1998) 中国統計年鑑 1998. 中国統計出版社, 北京, 943p.
- 35) 周達生 (1989) 中国の食文化. 創元社, 大阪, pp429.
- 36) 大野高裕 (1998) 多変量解析入門 自由自在に使いこなすコツ. 同友館, 東京, pp234.
- 37) システム農学会編 (1996) 新たな時代の食料生産システム 低投入・持続可能な農業に向けて. 農林統計協会, 5p, 東京.
- 38) 塚谷恒雄 (1997) 環境科学の基本－新しいパラダイムは生まれるか－. 化学同人, 21-46, 京都.

- 39) 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (1995) 日本飼養標準 肉用牛 (1995 年版). 中央畜産会, 76-181, 東京.
- 40) 農業機械学会 (1992) 農業機械による環境保全機能向上のための調査研究－調査報告書－. 農業機械学会, 68-146, 埼玉.
- 41) 沖谷明紘編 (1996) 肉の科学. 朝倉書店, 5-21, 東京.
- 42) 藤田秀保・志賀一一 (1997) 環境保全を考えた乳牛の糞尿処理と利用. 酪農総合研究所, 93-97, 札幌.
- 43) 小池俊吉 (2000) 日本畜産学会第 97 回大会シンポジウムプロシーディングス 21 世紀の畜産学研究の方向と展望. 日本畜産学会, 5-9, 東京.
- 44) 足立芳寛 (1998) エントロピーアセスメント入門. オーム社, pp219, 東京.
- 45) 畜産局自給飼料課 (2000) 自給飼料課関係資料, pp418, 東京.
- 46) 農林水産省草地試験場 (2000)
<http://ss.ngri.affrc.go.jp/siryo-ine/siryo-inetowa.html>.
- 47) 小玉陽一 (1984) システム・ダイナミックス入門 複雑な社会システムに挑む科学. 講談社, pp313, 東京.
- 48) 農林統計協会 (1999) 農業白書附属統計表 (平成 11 年度版). pp214, 東京.
- 49) 野口弥吉・川田信一郎監修 (1991) 農学大事典. 養賢堂, pp1294, 東京.
- 50) 西尾道德監修 (1997) 環境保全と新しい畜産. 農林水産技術情報協会, pp288, 東京.

謝辞

本研究の遂行及び論文の作成については、京都大学大学院情報学研究科酒井徹朗教授、守屋和幸教授、吉村哲彦助手の懇切なる指導の下でおこなわれた。また、多くの人々の協力なくしては本研究は成しえなかった。生物圏情報学研究室の荒井助教授、沼田助教授、上田さん、孫さん、松本さん、阿部さん、上口さんなどには有益な討論と助言を頂いた。京都大学大学院情報学研究科の上林弥彦教授、高橋隆教授には適切なコメントおよび助言をいただいた。京都大学農学部応用生物科学専攻畜産資源学分野の北川政幸助手、龍谷大学経済学部の広岡博之助教授、京都大学大学院農学研究科の森義昭講師、農林水産省中国農業実験場の高橋佳孝博士、立命館大学経営学部の平井孝治教授、同志社大学経済学部の室田武教授、修士課程の指導教官でもある奈良先端科学技術大学院大学情報科学センターの湊小太郎教授には資料などを貸していただき、しばしば有益な助言をいただいた。弘前大学人文学部の渡部純講師は論文の作成に協力してくださった。また、京大後援会からの研究助成により、中国のフィールド調査をおこなうことができた。その際、北京大学の叶文虎教授、陳国謙教授に多大な協力をいただいた。また、三和総合研究所の松村氏、環境庁国立環境研究センターの一ノ瀬頼明博士、王勤学博士から適切な助言、各方面の先生方の紹介等をしていただいた。心から感謝の意を表したい。

最後に、留学中に各方面から支えてくれた伊香雅文先生、片桐寿先生、溝渕文直先生、柴田修孝さん、柴田悦子さん、辻善吉さん、今江哲さん、岡田さん、打田さん、銭さん、胡さん、真吾さん、京大室町寮の皆様、そして、中国の両親に心から感謝したい。彼等の支えがなければ本論文を完成させることはできなかっただろう。

今後とも各方面の方々との交流を持ちながら、「持続可能な社会発展」を模索していきたいと考えている。

論文リスト

原著論文:

- 1) 劉 晨・遠藤晃・湊小太郎・高橋隆(1998)エントロピーの概念を用いた大学病院における外来処方オーダーエントリーシステム導入が及ぼした影響に関する定量的評価. 医療情報学, Vol.18, No.2, 149-155.
- 2) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(2000)牛肉生産的資源与環境問題. 中国人口・資源与環境, Vol.10, No.1, 38-41.
- 3) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(2000)中国の牛肉消費性向に関する事例的分析. システム農学, Vol.16, No.2, 163 - 172.
- 4) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(2001)肉牛生産におけるエネルギー分析. 肉用牛研究会会報, Vol.70, 51-57.
- 5) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗:環境保全型肉牛肥育・稲作複合システムの構築. 肉用牛研究会会報(投稿中).

講演論文:

- 1) 劉 晨・遠藤晃・湊小太郎・高橋隆(1998)熱力学モデルを用いたオーダーエントリーシステムシスムの定量的評価. 第 17 回医療情報学連合大会論文集(JCMI), 138-139.
- 2) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(1999)肉牛生産におけるエネルギー・窒素循環モデル. 中山間地での国土資源の畜産利用による保全・開発技術に関する国際ワークショップ講演要旨集, 55.
- 3) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(1999)肉牛生産システムのエネルギー分析. システム農学会 1999 年秋季シンポジウム・研究発表会要旨集, 20.
- 4) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(2000)現代中国における牛肉の生産と消費に関する研究. システム農学会 2000 年度春季シンポジウム・研究発表会要旨集, 82-83.

- 5) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(2000)エントロピー概念を用いたエネルギー消費モデルによる肉牛生産システムの評価. 肉用牛研究会報第 69 号, 35-39.
- 6) 劉 晨・吉村哲彦・守屋和幸・酒井徹朗(2000)畜産業と農業の持続可能な発展に関する考察. エントロピー学会第 18 回シンポジウム講演要旨集, 29-32.
- 7) 吉村哲彦・孫曉萌・劉 晨・酒井徹朗(1999)沿海域の自然環境保全に関する日中比較研究. `99 日本沿海域学会研究討論会講演概要集 No. 12, 64-69.

问卷咨询调查

1-1 您喜欢吃鱼还是喜欢吃肉？（单项选择）

- 1-2 下面的肉类中、您喜欢吃哪种？（多项选择可）

- 1.猪肉 2.牛肉 3.羊肉 4.鸡、鸭等家禽类肉 5.都不喜欢

1-3 下面的肉类中、您常吃哪种？（多项选择可）

- 1.猪肉 2.牛肉 3.羊肉 4.鸡、鸭等家禽类肉 5.都不常吃

1-4 您吃牛肉的频度是多少？（单项选择）

1. 每周3回以上
2. 每周1—2回
3. 每月1—3回

1-4-1 常在什么地方吃? (多项选择可)

1. 家
2. 食堂
3. 餐馆
4. 烧烤店
5. 高级饭店
6. 其他 ()

1-4-2 下面的牛肉菜肴中您常吃的是那些？（多项选择可）

1. 牛排
2. 烧烤
3. 炒牛肉
4. 炖牛肉
5. 其他 ()

4. 一年数回



1-4-3 是在什么时候？（多项选择可）

1. 过年过节
2. 宴会
3. 家庭聚会
4. 没什么特别规定
5. 其他 ()

5. 基本不吃

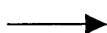


1-4-4 为什么不吃？（多项选择可）

1. 价格贵
2. 不好吃
3. 对健康不好
4. 买不到
5. 其他 ()

1-5 您觉得您今后的年均牛肉消费量会有何变化？（单项选择）

1. 逐渐增加



1-5-1 为什么？（多项选择可）

1. 价格越来越便宜
2. 越来越易买到
3. 高蛋白、有营养
4. 喜欢吃
5. 其他 ()

2. 逐渐减少



1-5-2 为什么？（多项选择可）

1. 价格越来越贵
2. 越来越难买到
3. 对健康不好
4. 不喜欢吃
5. 其他 ()

3. 没什么变化

问题2 请回答以下问题。

		猪肉	牛肉	羊肉	鸡、鸭等 家禽肉	鱼肉
2-1 在右上方所列鱼肉类中请您按您喜欢的程度用数字1(最喜欢)、2(较喜欢)、3(一般)、4(不太喜欢)、5(不喜欢)、6(没吃过)表示。						
2-2 您对右上方所列鱼肉类有什么样的印象？(右方所列的几种印象中感受较强的画◎表示、感受一般的画○表示、无此种感受的画×表示)。	高级奢侈品					
	深受家人喜爱的食物					
	美味佳肴					
	传统食物					
	平民食物					
	易嚼、易消化					
	易烹饪					
	价格便宜					
	营养丰富					
	柔软、口感好					
	稀罕、少见					

问题3 请回答以下问题。(单项选择。)

- A) 牛排

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 烧烤

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 寿司

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 汉堡包

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 比萨饼

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 伽哩饭

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- B) 韩国菜

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 日本菜

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道
- 法国菜

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

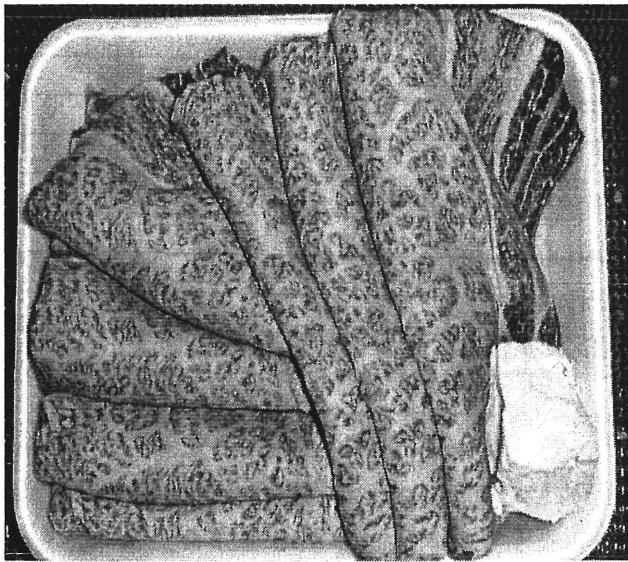
3. 不知道
- 意大利菜

1. 吃过

2. 没吃过但听说过

3. 不知道

问题4 下图为在日本售价最高的“霜降高级牛肉”的照片。这种牛肉的特点是白色的脂肪象霜一样均匀地分布在肉中、因此肉质柔软美味、食用时有入口即化的感觉。然而具有这种肉质的牛需用粮食喂养、生产1kg这样的牛肉需要16kg以上的粮食、因此价格很高、是一般牛肉的5—10倍。并且据说这种牛肉由于脂肪含量很高、经常食用会导致心脏病、高血压等疾病。如果这种牛肉在市场上出售、作为消费者的您会购买吗？



1. 买



4-1 为什么？（多项选择）

- 1. 美味
- 2. 稀罕
- 3. 高级
- 4. 其他 ()

2. 不买



4-2 为什么？（多项选择）

- 1. 价格贵
- 2. 有害健康
- 3. 会引起粮食危机
- 4. 其他 ()

问题5 请根据您的个人情况回答以下问题。

5-1 您的性别？

- 1. 男
- 2. 女

5-2 您的年龄？

- 1. 19岁以下
- 2. 20~29岁
- 3. 30~39岁
- 4. 40~49岁
- 5. 50~59岁
- 6. 60岁以上

5-3 您的家庭住址？

()省/市/自治区 ()市/县

5-4 您属那个民族？

()族

5-5 您家有几口人？

- 1. 1人
- 2. 2人
- 3. 3人
- 4. 4人
- 5. 5人
- 6. 6人
- 7. 6人以上

5-6 您家的年均总收入？

- 1. 2千元以下
- 2. 2千元~1万元未滿
- 3. 1万元~2万元未滿
- 4. 2万元~5万元未滿
- 5. 5万元~10万元未滿
- 6. 10万元以上

5-7 您的职业？

1. 工人 2. 农民 3. 个体经营者 4. 公司职员 5. 学生 6. 医生
7. 教师 8. 退休职工 9. 待业者 10. 干部 11. 其他 ()

问题6 据国家统计局统计，我国的牛肉消费量在近十年内成倍增长。随着家庭收入的提高、外来食文化的影响、人们的饮食结构发生了许多变化。请根据您的所见所闻、对牛肉消费上的变化谈谈您的感想。（例如：您家现在的牛肉消费情况与10年前有何不同？您什么时候开始吃牛肉的、在什么情况下？您对牛肉有什么感觉？每月的伙食费中用来购买牛肉的占多少？您家最喜欢吃牛肉的是谁？等等）

谢谢您的合作。